

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(1) Publication number : 08-075806

(3) Date of publication of application : 22.03.1996

(51) Int. Cl.

G01R 27/26

(21) Application number : 06-209593

(71) Applicant : MURATA MFG CO LTD
CHO YASUO

(22) Date of filing : 02.09.1994

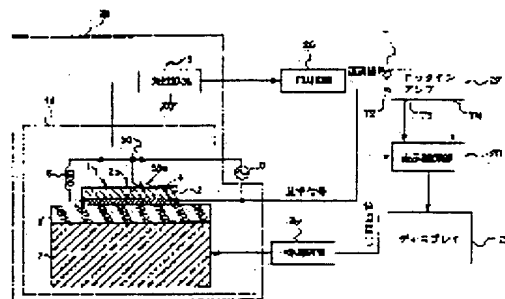
(72) Inventor : CHO YASUO

(54) NONLINEAR DIELECTRIC CONSTANT MEASURING INSTRUMENT

(57) Abstract:

PURPOSE: To enable observation of the micro-distribution of a nonlinear dielectric constant, the crystal status of a dielectric, and the micro-distribution of polarization by applying an alternate current signal with its specific frequency to the minute region of the dielectric.

CONSTITUTION: An alternate current power supply 9 generates as alternate current electric field E_p in a minute region 2a of a dielectric sample 2 by applying an alternate current voltage V_p with a frequency f_p to electrodes 50 and 4 to be measured and outputs voltage V_p as a reference voltage. The minute region 2a and a capacitor unit 1 comprise a resonance circuit 10. An oscillator 20 generates an oscillation signal in which the oscillation frequency varies in response to the frequency f_p and a ternary induction rate $\epsilon''/3$ of the minute region 2a. An FM demodulation circuit 26 frequency-demodulates this oscillation signal and outputs a demodulation signal with its amplitude matching the frequency f_p and dielectric constant $\epsilon''/3$. A lock-in amplifier 27 synchronously detects the demodulation signal based on a reference signal and outputs a direct current signal with its amplitude matching the frequency f_p and the dielectric constant $\epsilon''/3$.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.08.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3204852

[Date of registration] 29.06.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's]

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-75806

(43)公開日 平成8年(1996)3月22日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 R 27/26

H

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 25 頁)

(21)出願番号 特願平6-209593

(22)出願日 平成6年(1994)9月2日

(71)出願人 000006231

株式会社村田製作所

京都府長岡京市天神二丁目26番10号

(71)出願人 594153720

長 康雄

山口県宇部市大字沖宇部2557番地

(72)発明者 長 康雄

山口県宇部市大字沖宇部2557番地

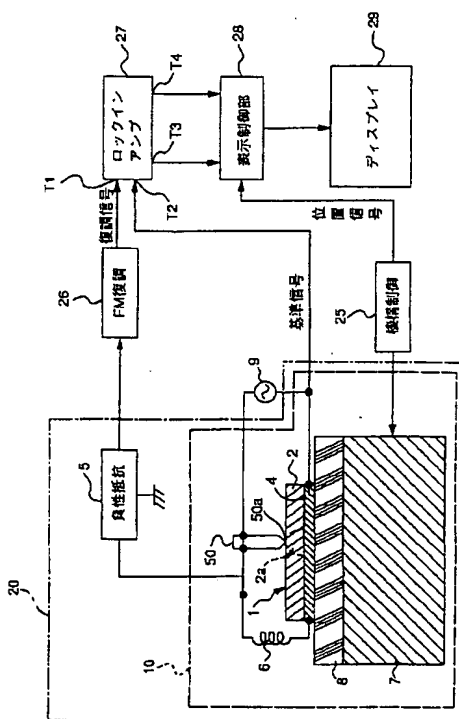
(74)代理人 弁理士 青山 葆 (外2名)

(54)【発明の名称】 非線形誘電率測定装置

(57)【要約】

【目的】 誘電体の一部分である微小領域における非線形誘電率を測定する非線形誘電率測定装置を提供する。

【構成】 誘電体に形成された第1の電極と、上記誘電体の微小領域に接触するように設けられた先端部を有する第2の電極と、上記誘電体の微小領域に所定の周波数を有する交流信号を印加する電圧印加手段と、上記第1の電極と上記第2の電極との間に挟設された誘電体の微小領域のキャパシタを含んで構成された共振回路を備えて、上記誘電体の微小領域に上記交流信号が印加されたときに、上記交流信号の周波数と上記微小領域の非線形誘電率に対応して発振周波数が変化する発振信号を発生する発振手段と、上記発振信号を周波数復調して、上記交流信号の周波数と上記微小領域の非線形誘電率に対応した振幅を有する信号を電気信号として出力する復調手段とを備え、上記電気信号に基づいて上記誘電体の微小領域の非線形誘電率を測定する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 互いに対向する第 1 の面と第 2 の面とを有する誘電体の一部分である微小領域における非線形誘電率を測定する非線形誘電率測定装置であって、

上記誘電体の第 1 の面に形成された第 1 の電極と、
上記誘電体の第 2 の面に接触するように設けられた先端部を有する第 2 の電極と、

上記第 1 の電極と上記第 2 の電極に接続され、上記誘電体の微小領域に所定の周波数を有する交流信号を印加する電圧印加手段と、

上記第 1 の電極と上記第 2 の電極との間に挟設された誘電体の微小領域のキャパシタと、インダクタとを含んで構成された LC 共振回路を備えて、上記誘電体の微小領域に上記交流信号が印加されたときに、上記交流信号の周波数と上記微小領域の非線形誘電率に対応して発振周波数が変化する発振信号を発生する発振手段と、

上記発振信号を周波数復調して、上記交流信号の周波数と上記微小領域の非線形誘電率に対応した振幅を有する信号を電気信号として出力する復調手段とを備え、

上記電気信号に基づいて上記誘電体の微小領域の非線形誘電率を測定することを特徴とする非線形誘電率測定装置。

【請求項 2】 互いに対向する第 1 の面と第 2 の面とを有する誘電体の一部分である微小領域における非線形誘電率を測定する非線形誘電率測定装置であって、

上記誘電体の第 1 の面に形成された第 1 の電極と、
上記誘電体の第 2 の面に形成された透明材料にてなる第 2 の電極と、

上記第 1 の電極と上記第 2 の電極に接続され、上記誘電体の微小領域に所定の周波数を有する交流信号を印加する電圧印加手段と、

上記第 2 の電極を介して上記誘電体の微小領域に光ビームを照射する光照射手段と、

上記光ビームが照射されたときに、上記誘電体の微小領域から反射される反射光を光電変換して電気信号を出力する光電変換手段とを備え、

上記電気信号に基づいて上記誘電体の微小領域の非線形誘電率を測定することを特徴とする非線形誘電率測定装置。

【請求項 3】 上記非線形誘電率測定装置はさらに、上記交流信号に基づいて上記電気信号を同期検波して上記電気信号の振幅に対応した直流信号を出力する検波手段とを備え、

上記直流信号に基づいて上記誘電体の微小領域の非線形誘電率を測定することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の非線形誘電率測定装置。

【請求項 4】 上記共振回路は、

互いに対向する 2 個の底面を備えた円筒形状を有し、上記円筒形状の一方の底面が短絡されて終端されかつ他方の底面に開口部を有する導体ケースと、

2

上記導体ケースの一方の底面の中心に連結され、かつ上記連結部分から上記導体ケースの軸中心に沿って上記先端部が上記開口部まで延在するように上記導体ケース内に設けられた円柱形状の上記第 2 の電極とを備え、

上記導体ケースの他方の底面が上記誘電体の上面に接触してなるリエントラント空洞共振器であることを特徴とする請求項 1 記載の非線形誘電率測定装置。

【請求項 5】 上記非線形誘電率測定装置はさらに、上記第 2 の電極が上記誘電体の第 2 の面上を走査するように、上記誘電体を 1 次元方向又は 2 次元方向で移動する移動手段を備えたことを特徴とする請求項 1、3 又は 4 記載の非線形誘電率測定装置。

【請求項 6】 上記非線形誘電率測定装置はさらに、上記光照射手段によって照射された光ビームに対して垂直に、上記誘電体を 1 次元方向又は 2 次元方向で移動する移動手段を備えたことを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の非線形誘電率測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、誘電体材料の非線形誘電率を測定する非線形誘電率測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、移動体通信用弾性表面波デバイスをはじめとする種々の弾性波応用素子において、高周波化・大電力化が進み、それらの素子に用いられている圧電材料の誘電率等の非線形特性が無視できない状況になりつつある。またコンコルバのように材料の非線形特性を利用したデバイスも開発されつつある。またさらに最近ではその薄膜化の研究も大きな進歩を遂げ、次世代の超高密度メモリーへの応用を目的とした研究も活発に行なわれている。以上のように圧電材料の応用研究が活発に行なわれるようになるにつれて、誘電率の非線形特性の評価や誘電率の非線形特性に関係の深い誘電体材料の結晶性や強誘電体の分極の状態の観測は、ますます重要になりつつある。従来は、誘電体材料の結晶性や強誘電体の分極の状態の観測には、X 線回折法による分析や、ソーヤタワー回路による D-E 曲線の観測など一般的に用いられていた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、従来の X 線回折法やソーヤタワー回路による方法では、強誘電体の分極のミクロの分布や、誘電率の非線形定数のミクロの分布の測定はできなかった。

【0004】 本発明の目的は、上記問題点を解決して、非線形誘電率のミクロの分布や、これによって、誘電体の結晶状態や分極のミクロの分布を観測することができる非線形誘電率測定装置を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る請求項 1 記載の非線形誘電率測定装置は、互いに対向する第 1 の面

10

20

30

40

50

3

と第2の面とを有する誘電体の一部分である微小領域における非線形誘電率を測定する非線形誘電率測定装置であって、上記誘電体の第1の面に形成された第1の電極と、上記誘電体の第2の面に接触するように設けられた先端部を有する第2の電極と、上記第1の電極と上記第2の電極に接続され、上記誘電体の微小領域に所定の周波数を有する交流信号を印加する電圧印加手段と、上記第1の電極と上記第2の電極との間に挟設された誘電体の微小領域のキャパシタと、インダクタとを含んで構成されたLC共振回路を備えて、上記誘電体の微小領域に上記交流信号が印加されたときに、上記交流信号の周波数と上記微小領域の非線形誘電率に対応して発振周波数が変化する発振信号を発生する発振手段と、上記発振信号を周波数復調して、上記交流信号の周波数と上記微小領域の非線形誘電率に対応した振幅を有する信号を電気信号として出力する復調手段とを備え、上記電気信号に基づいて上記誘電体の微小領域の非線形誘電率を測定することを特徴とする。

【0006】請求項2記載の非線形誘電率測定装置は、互いに対向する第1の面と第2の面とを有する誘電体の一部分である微小領域における非線形誘電率を測定する非線形誘電率測定装置であって、上記誘電体の第1の面に形成された第1の電極と、上記誘電体の第2の面に形成された透明材料にてなる第2の電極と、上記第1の電極と上記第2の電極に接続され、上記誘電体の微小領域に所定の周波数を有する交流信号を印加する電圧印加手段と、上記第2の電極を介して上記誘電体の微小領域に光ビームを照射する光照射手段と、上記光ビームが照射されたときに、上記誘電体の微小領域から反射される反射光を光電変換して電気信号を出力する光電変換手段とを備え、上記電気信号に基づいて上記誘電体の微小領域の非線形誘電率を測定することを特徴とする。

【0007】請求項3記載の非線形誘電率測定装置は、請求項1又は2記載の非線形誘電率測定装置において、さらに、上記交流信号に基づいて上記電気信号を同期検波して上記電気信号の振幅に対応した直流信号を出力する検波手段とを備え、上記直流信号に基づいて上記誘電体の微小領域の非線形誘電率を測定することを特徴とする。

【0008】請求項4記載の非線形誘電率測定装置においては、請求項1記載の非線形誘電率測定装置において、上記共振回路は、互いに対向する2個の底面を備えた円筒形状を有し、上記円筒形状の一方の底面が短絡されて終端されかつ他方の底面に開口部を有する導体ケースと、上記導体ケースの一方の底面の中心に連結され、かつ上記連結部分から上記導体ケースの軸中心に沿って上記先端部が上記開口部まで延在するように上記導体ケース内に設けられた円柱形状の上記第2の電極とを備え、上記導体ケースの他方の底面が上記誘電体の上面に接触してなるリエントラント空洞共振器であることを特

4

徴とする。

【0009】請求項5記載の非線形誘電率測定装置は、請求項1、3又は4記載の非線形誘電率測定装置において、さらに、上記第2の電極が上記誘電体の第2の面上を走査するように、上記誘電体を1次元方向又は2次元方向で移動する移動手段を備えたことを特徴とする。

【0010】請求項6記載の非線形誘電率測定装置は、請求項2又は3記載の非線形誘電率測定装置において、さらに、上記光照射手段によって照射された光ビームに対して垂直に、上記誘電体を1次元方向又は2次元方向で移動する移動手段を備えたことを特徴とする。

【0011】

【作用】請求項1記載の非線形誘電率測定装置においては、上記電圧印加手段は、上記第1の電極と上記第2の電極に所定の周波数を有する上記交流信号を印加することによって、上記誘電体の微小領域に上記交流信号を印加する。上記発振手段は、上記誘電体の微小領域に上記交流信号が印加されたときに、上記交流信号の周波数と上記微小領域の非線形誘電率に対応して発振周波数が変化する発振信号を発生する。次いで、上記復調手段は、上記発振信号を周波数復調して、上記交流信号の周波数と上記誘電体の微小領域の非線形誘電率に対応した振幅を有する信号を電気信号として出力する。そして、上記電気信号に基づいて上記誘電体の微小領域の電氣的領域における非線形誘電率を測定する。

【0012】また、請求項2記載の非線形誘電率測定装置においては、上記電圧印加手段は、上記第1の電極と上記第2の電極に上記交流信号を印加することによって、上記誘電体の微小領域に上記交流信号を印加する。これによって、上記誘電体の微小領域の光反射率は、上記交流信号と上記誘電体の微小領域の非線形誘電率に対応して変化する。また、上記光照射手段が、上記透明材料にてなる第2の電極を介して、上記誘電体の微小領域に光ビームを照射すると、上記誘電体の微小領域は、上記光反射率の変化に対応した強度を有する光ビームを反射光として反射する。次いで、上記光電変換手段は、上記誘電体の微小領域から反射される反射光を光電変換して電気信号を出力する。そして、上記電気信号に基づいて上記誘電体の微小領域の光学的領域における非線形誘電率を測定する。

【0013】さらに、請求項3記載の非線形誘電率測定装置においては、上記検波手段は、上記交流信号に基づいて、上記電気信号を同期検波して上記電気信号の振幅に対応した直流信号を出力する。そして、上記直流信号に基づいて上記誘電体の微小領域の非線形誘電率を測定する。

【0014】請求項4記載の非線形誘電率測定装置においては、上記共振回路は、好ましくは、互いに対向する2個の底面を備えた円筒形状を有し、上記円筒形状の一方の底面が短絡されて終端されかつ他方の底面に開口部

5

を有する導体ケースと、上記導体ケースの一方の底面の中心に連結され、かつ上記連結部分から上記導体ケースの軸中心に沿って上記先端部が上記開口部まで延在するように上記導体ケース内に設けられた円柱形状の上記第2の電極とを備え、上記導体ケースの他方の底面が上記誘電体の上面に接触してなるリエントラント空洞共振器である。

【0015】請求項5記載の非線形誘電率測定装置においては、請求項1、3又は4記載の非線形誘電率測定装置の上記移動手段は、上記第2の電極が上記誘電体の第2の面上を走査するように、上記誘電体を1次元方向又は2次元方向で移動する。これによって、上記誘電体の表面上の直線上又は平面上の電氣的領域における非線形誘電率の分布を測定することができる。

【0016】請求項6記載の非線形誘電率測定装置においては、請求項2又は3記載の非線形誘電率測定装置の上記移動手段は、上記光照射手段によって照射された光ビームに対して垂直に、上記誘電体を1次元方向又は2次元方向で移動する。これによって、上記誘電体の表面上の直線上又は平面上の光学的領域における非線形誘電率の分布を測定することができる。

【0017】

【実施例】以下、図面を用いて本発明に係る実施例について説明する。

<基本回路>図1は本発明に係る非線形誘電率測定装置の基本回路を示すブロック図である。

【0018】図1の非線形誘電率測定装置は、(a)周波数 f_p を有する交流電圧 V_p を発生して、測定電極50と電極4に上記交流電圧 V_p を印加することによって誘電体試料2の微小領域2aに交流電界 E_p を発生させるとともに、交流電圧 V_p を基準信号として出力する交流電源9と、(b)上記電極4と上記測定電極50に挟設された微小領域2aと、電極4と、測定電極50とによって構成されるキャパシタ部1を含む共振回路部10を備え上記交流電圧 V_p が上記電極4と上記測定電極50に印加されたときに発振周波数が上記周波数 f_p と微小領域2aの3次の誘電率 ϵ_3 に対応して発振周波数が変化する発振信号を発生する発振器20と、(c)上記発振信号を周波数復調して上記周波数 f_p と上記微小領域2aの3次の誘電率 ϵ_3 に対応した振幅を有する信号を復調信号として出力するFM復調回路26と、(d)上記基準信号に基づいて上記復調信号を同期検波して上記周波数 f_p と上記微小領域2aの3次の誘電率 ϵ_3 に対応した振幅を有する直流信号を出力するロックインアンプ27とを備え、上記微小領域2aの電氣的領域の3次の誘電率 ϵ_3 を測定するように構成したことを特徴とする。

【0019】以下図面を用いて図1の基本回路の構成を詳細に説明する。

【0020】図1に示すように、上記共振回路部10

6

は、誘電体試料2と、電極4と、測定電極50と、機構部7と、コイル6とによって構成される。上記誘電体試料2は、略平行な上面と下面を有し、上記誘電体試料2の下面に上記電極4が形成される。測定電極50は、尖った先端部50aを有する導体によって構成され、上記先端部50aが上記誘電体試料2の上面に接するように固定される。上記誘電体試料2と電極4と測定電極50はキャパシタ部1を構成する。また、機構部7は上面に形成された絶縁部8を備え、上記誘電体試料2をその表面上に載置して保持し、かつ機構制御部25からの制御信号にตอบสนองして、誘電体試料2を上記測定電極50の先端部50aが上記誘電体試料2の上面と接した状態を保ったまま誘電体試料2を一次元方向または二次元方向に移動させる。さらに、コイル6はインダクタンス L を有し、その一端は測定電極50及び負性抵抗回路5の入力端に接続される一方、その他端は電極4に接続される。またさらに、交流電源9は、交流電圧 V_p を測定電極50と電極4とに印加することにより、上記測定電極50と電極4の間に位置する誘電体試料2の微小領域2aに交流電界 E_p を発生させる一方、上記交流電圧 V_p を基準信号としてロックインアンプ27に出力する。以上のように構成された共振回路部10において、測定電極50の先端部50aと、電極4と、測定電極50の先端部50aと電極4とによって挟設された誘電体試料2の微小領域2aはキャパシタンス C_s を形成して、さらに、上述のようにコイル6は上記キャパシタンス C_s に並列になるように接続されているので、上記キャパシタンス C_s と上記コイル6はLC共振回路を構成する。このLC共振回路は負性抵抗回路5に接続されて、発振器20を構成する。発振器20は詳細後述するようにキャパシタンス C_s の変化に対応して周波数変調された発振信号を発振して発生しFM復調回路26に出力する。FM復調回路26は、周波数変調された発振信号を復調して復調信号をロックインアンプ27に出力する。

【0021】ロックインアンプ27は、図2に示すように、入力端子T1、T2と、増幅器271と、波形整形器272と、同相分配器273、274と、90度移相器275と、乗算器である混合器277a、277bと、低域通過フィルタ278a、278bと、出力端子T3、T4とによって構成される。増幅器271は、入力端子T1を介して入力される復調信号を増幅して同相分配器273に出力する。同相分配器273は、増幅された復調信号を同相分配して混合器277aと混合器277bに出力する。一方、波形整形器272は、入力端子T2を介して入力された基準信号を方形波に整形して同相分配器274に出力する。同相分配器274は、波形整形器272から出力される基準信号を同相で分配して混合器277bと90度移相器275に出力する。90度移相器275は、基準信号を基準信号の周波数において90度だけ移相して混合器277aに出力する。混

7

合器277aは、復調信号と90度だけ移相された基準信号を乗算して混合し、上記復調信号の周波数と上記基準信号の周波数の和と差の周波数を有する信号に変換して低域通過フィルタ278aに出力する。低域通過フィルタ278aは、入力される混合後の信号のうちの直流信号のみを通過させて出力端子T3を介して出力電圧 V_{a1} を表示制御部28に出力する。混合器277bは、基準信号と復調信号とを乗算して混合し、上記復調信号の周波数と上記基準信号の周波数の和と差の周波数を有する信号に変換して、低域通過フィルタ278bに出力する。低域通過フィルタ278bは、入力される混合後の信号のうちの直流信号のみを通過させて出力端子T4を介して出力電圧 V_{a2} を表示制御部28に出力する。ここで、低域通過フィルタ278aから出力される電圧 V_{a1} は、基準信号が90度だけ移相されて復調信号と混合されるので、上記復調信号と上記基準信号が同相で掛算されかつ低域ろ波された後の電圧の絶対値を $|V_a|$ とし、かつ上記復調信号と上記基準信号との間の位相差を ϕ とすると数1で表される。また同様に、低域通過フィルタ278bから出力される電圧 V_{a2} は、数2で表される。

【0022】

【数1】 $V_{a1} = |V_a| \cdot \sin \phi$ 【数2】 $V_{a2} = |V_a| \cdot \cos \phi$

【0023】表示制御部28は、ロックインアンプ27から入力される出力電圧 V_{a1} と出力電圧 V_{a2} とから出力電圧 $|V_a|$ と位相差 ϕ をそれぞれ次の数3と数4を用いて演算して、ロックインアンプ27の出力電圧 $|V_a|$ 、 V_{a1} 、 V_{a2} と機構制御部25から入力される位置信号のうちから指定された測定値をディスプレイ29の表示画面上に表示するように制御する。これに回答してディスプレイ29は、表示制御部28の指示信号に従って各パラメータの各値を表示する。

【0024】

【数3】 $|V_a| = \sqrt{V_{a1}^2 + V_{a2}^2}$ 【数4】 $\phi = \tan^{-1} (V_{a1} / V_{a2})$

【0025】以上のように構成された基本回路を備えた非線形誘電率測定装置において、上記誘電体試料2の微小領域2aに、交流電源9によって測定電極50と電極4に周波数 f_p を有する正弦波である交流電圧 V_p を印加すると、上記微小領域2aに上記交流電圧 V_p の振幅に比例した振幅と上記交流電圧 V_p の周波数 f_p と同じ周波数を有する正弦波である交流電界 E_p を発生する。交流電圧 V_p と交流電界 E_p は、数5で表される角周波数 ω_p を用いて数6と数7で表すことができる。ここで V_{p0} は交流電圧 V_p の振幅であり、 E_{p0} は交流電界 E_p の振幅である。

【0026】

【数5】 $\omega_p = 2\pi f_p$ 【数6】 $V_p = V_{p0} \cos \omega_p$

8

【数7】 $E_p = E_{p0} \cos \omega_p$

【0027】また、交流電圧 V_p を印加したときの上記微小領域2aの誘電率 ϵ_t は、公知のように、交流電界 E_p と2次の誘電率 ϵ_2 と3次の誘電率 ϵ_3 と4次の誘電率 ϵ_4 を用いると次の数8で表される。

【0028】

【数8】 $\epsilon_t = \epsilon_2 + \epsilon_3 E_p + (1/2) \epsilon_4 E_p^2$

【0029】ここで、数8は以下のように導くことができる。誘電体試料2に電界を印加したときの誘電体試料2の電束密度と電界をそれぞれ D 、 E として、誘電体試料2の単位体積当たりに蓄えられる内部エネルギーと、電気的エンタルピーをそれぞれ U 、 H として、上記電束密度 D と電界 E と内部エネルギー U と電気的エンタルピー H の微分をそれぞれ dD 、 dE 、 dU 、 dH とすると、次の数9と数10の関係が成り立つ。

【0030】

【数9】 $dU = E dD$ 【数10】 $H = U - ED$

【0031】以上の数9と数10から微分 dH は、次の数11で表される。従って、電束密度 D は数12で表される。

【0032】

【数11】 $dH = -D dE$ 【数12】 $D = -\partial H / \partial E$

【0033】次に、電気エンタルピー H を電界 E の関数として原点で4次の項までテーラー展開すると、電気的エンタルピー H は次の数13で与えられる。

【0034】

【数13】 $H = (1/2) (\partial^2 H / \partial E^2)_0 E^2 + (1/6) (\partial^3 H / \partial E^3)_0 E^3 + (1/24) (\partial^4 H / \partial E^4)_0 E^4$

【0035】ここで、0次の項は、電界 $E=0$ で場に蓄えられるエネルギーを0とすることにより0とした。また、1次の項は、電界 $E=0$ で電束密度 $D=0$ になることと数12とから0になる。また、数12と数13から電束密度 D は、次の数14で表される。

【0036】

【数14】 $D = -(\partial^2 H / \partial E^2)_0 E - (1/2) (\partial^3 H / \partial E^3)_0 E^2 - (1/6) (\partial^4 H / \partial E^4)_0 E^3$
 $= \epsilon_2 E + (1/2) \epsilon_3 E^2 + (1/6) \epsilon_4 E^3$

【0037】ここで、 $-(\partial^2 H / \partial E^2)_0 = \epsilon_2$ 、 $-(\partial^3 H / \partial E^3)_0 = \epsilon_3$ 、 $-(\partial^4 H / \partial E^4)_0 = \epsilon_4$ としている。

以上のことから、電気的エンタルピー H をテーラー展開したときの、2次の展開係数に対応した ϵ_2 を2次の誘電率と呼び、3次の展開係数に対応した ϵ_3 を3次の誘電率と呼び、4次の展開係数に対応した ϵ_4 を4次の誘電率と呼んでいる。さらに、数14において、交流電界 E_p に発振信号に対応した微小電界 ΔE が重畳している場合を考える。このとき上記交流電界 E_p に対応した電束密度を D_p として、上記微小電界 ΔE に対応した微小電束密度を ΔD とすると、数14は次の数15のように

表わすことができる。

【0038】

$$\text{【数15】 } D_p + \Delta D = \varepsilon_2 (E_p + \Delta E) + (1/2) \varepsilon_3 (E_p + \Delta E)^2 + (1/6) \varepsilon_4 (E_p + \Delta E)^3$$

【0039】ここで、電束密度 D_p は、次の数16で表され、また交流電界 E_p に比較して微小電界 ΔE は十分小さいので、 $(\Delta E)^2$ と $(\Delta E)^3$ を含む項は0と近似することができ、数15の第2項の ΔD は数17のように表わすことができる。

【0040】

【数16】

$$D_p = \varepsilon_2 E_p + (1/2) \varepsilon_3 E_p^2 + (1/6) \varepsilon_4 E_p^3$$

【数17】

$$\begin{aligned} \Delta D &= \varepsilon_2 \Delta E + \varepsilon_3 E_p \Delta E + (1/2) \varepsilon_4 E_p^2 \Delta E \\ &= \{\varepsilon_2 + \varepsilon_3 E_p + (1/2) \varepsilon_4 E_p^2\} \Delta E \\ &= \varepsilon_t \Delta E \end{aligned}$$

【0041】数17から明らかなように、微小電界 ΔE と、微小電界 ΔE によって発生する微小電束密度 ΔD の間の比例係数 ε_t として数8を導くことができる。また、本明細書では、3次の誘電率 ε_3 、4次の誘電率 ε_4 等の3次以上の誘電率のことを非線形誘電率と呼ぶ。本基本回路では、電気信号である発振信号に対する応答性を観測しているので、ここで言う非線形誘電率は、電氣的領域の非線形誘電率のことである。また、3次の誘電率 ε_3 は、特に交流電界 E_p の向きと分極 P の向きが同じ向き場合と、交流電界 E_p の向きと分極 P の向きが逆の向き場合とで、正負が反転する。また数8において4次の誘電率 ε_4 よりも高次の誘電率は無視しているが、上記高次の誘電率は2次、3次、及び4次の誘電率に比較して十分小さいので、以下の説明において高次の誘電率を無視したことの影響は無い。また、以下の説明において、数式は、誘電体試料2の厚み方向の1次元に限定して表示している。また、上記測定電極50と電極4とによって挟設された上記微小領域2aが構成するキャパシタンス C_s は、誘電率 ε_t に比例するので、誘電体試料2の厚さ d と測定電極50の先端部の面積と誘電体試料2によって決まる正の定数 C_e と数8を用いて次の数18のように表すことができる。

【0042】

【数18】

$$C_s = C_e (1/d) \{\varepsilon_2 + \varepsilon_3 E_p + (1/2) \varepsilon_4 E_p^2\}$$

【0043】また、数18で表されるキャパシタンス C_s は、次の数19で表されるキャパシタンス C_0 と次の数20で表されるキャパシタンス変化量 ΔC を用いると数21のように表すことができる。ここで、キャパシタンス C_0 は、交流電圧 V_p が印加されていないときの測定電極50と電極4と測定電極50と電極4とによって挟設された上記微小領域2aが構成するキャパシタンスであり、キャパシタンス変化量 ΔC は、交流電圧 V_p を印加したときのキャパシタンス C_0 からのキャパシタ

ス変化量である。

【0044】

$$\text{【数19】 } C_0 = C_e (1/d) \varepsilon_2$$

【数20】

$$\Delta C = C_e (1/d) \{\varepsilon_3 E_p + (1/2) \varepsilon_4 E_p^2\}$$

【数21】 $C_s = C_0 + \Delta C$

【0045】数7で表される交流電界 E_p を数20の右辺に代入して、さらに数22で表される三角関数の公式を用いて変形すると、 ΔC は数23のように表すことができる。

【0046】

$$\text{【数22】 } \cos^2(\omega p \cdot t) = \{1 + \cos(2\omega p \cdot t)\}/2$$

$$\text{【数23】 } \Delta C = C_e (1/d) \{\varepsilon_4 E_{p0}^2/4 + \varepsilon_3 E_{p0} \cos(\omega p \cdot t) + (\varepsilon_4 E_{p0}^2/4) \cos(2\omega p \cdot t)\}$$

【0047】さらに、数23は、次の数24と数25と数26で表されるキャパシタンス変化量 ΔC_2 、 ΔC_3 、 ΔC_4 を用いて数27のように書き換えることができる。ここで、キャパシタンス変化量 ΔC_2 は、4次の誘電率 ε_4 と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} の2乗に比例して時間的には変化しない変化量であって、キャパシタンス変化量 ΔC_3 は、3次の誘電率 ε_3 と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} に比例する振幅を有しかつ角周波数 ωp を有して交番的に変化するキャパシタンス変化量である。また、キャパシタンス変化量 ΔC_4 は、4次の誘電率 ε_4 と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} の2乗に比例する振幅を有しかつ角周波数 $2\omega p$ を有して交番的に変化するキャパシタンス変化量である。

【0048】

$$\text{【数24】 } \Delta C_2 = C_e (1/d) (\varepsilon_4 E_{p0}^2/4)$$

$$\text{【数25】 } \Delta C_3 = C_e (1/d) \varepsilon_3 E_{p0} \cos(\omega p \cdot t)$$

$$\text{【数26】 } \Delta C_4 = C_e (1/d) (\varepsilon_4 E_{p0}^2/4) \cos(2\omega p \cdot t)$$

$$\text{【数27】 } \Delta C = \Delta C_2 + \Delta C_3 + \Delta C_4$$

【0049】一方、キャパシタ部1とコイル6は上述のようにLC共振回路を構成し、上記LC共振回路の共振周波数 f_{LC} は、公知のように次の数28で表される。

【0050】

$$\begin{aligned} \text{【数28】 } f_{LC} &= 1/\{2\pi\sqrt{L \cdot C_s}\} \\ &= 1/[2\pi\sqrt{L \cdot (C_0 + \Delta C)}] \end{aligned}$$

【0051】また、数25における $\varepsilon_3 E_{p0}$ と数26における $\varepsilon_4 E_{p0}^2/4$ は、2次の誘電率 ε_2 に比べて十分小さいので、数19と数20より $C_0 \gg \Delta C$ が成り立つ。従って、数28を数29で表される近似式を用いて書き換えると、上記キャパシタンス変化量 ΔC と共振周波数変化量 Δf_{LC} の関係は、数30のように表わすことができる。

【0052】

$$\text{【数29】 } \sqrt{1 + \Delta C/C_0} = (1 + \Delta C/C_0)^{-1/2} \approx 1 - (1/2)(\Delta C/C_0)$$

$$\text{【数30】 } \Delta C/C_0 = -2\Delta f_{LC}/f_{LC}$$

【0053】 以上のように、上記LC共振回路の共振周波数 f_{lc} は、上記キャパシタンス C_s のキャパシタンス変化量 ΔC に比例して共振周波数変化量 Δf_{lc} だけ変化する。また、上記共振回路部10と負性抵抗回路5は、発振器20を構成しているのので、上記発振器20は、上記共振周波数 f_{lc} と同じ周波数である発振周波数 f_{osc} を有する発振信号を発振して発生してFM復調回路26に出力する。ここで、上述のように上記LC共振回路の共振周波数 f_{lc} は、上記キャパシタンス C_s のキャパシタンス変化量 ΔC に比例して共振周波数変化量 Δf_{lc} だけ変化するのので、上記発振周波数 f_{osc} も同様に、上記キャパシタンス C_s のキャパシタンス変化量 ΔC に比例して変化する。また、上述のようにキャパシタンス変化量 ΔC は、3次の誘電率 ϵ_3 と交流電界 E_p の振幅 E_p に比例する振幅を有しかつ角周波数 ω_p を有して交番的に変化するキャパシタンス変化量 ΔC_3 と、4次の誘電率 ϵ_4 と交流電界 E_p の振幅 E_p の2乗に比例する振幅を有しかつ角周波数 $2\omega_p$ を有して交番的に変化するキャパシタンス変化量 ΔC_4 を含むので、上記発振信号は、3次の誘電率 ϵ_3 と交流電界 E_p の振幅 E_p に比例する振幅を有しかつ角周波数 ω_p すなわち周波数 f_p を有する信号 S_3 と、4次の誘電率 ϵ_4 と交流電界 E_p の振幅 E_p の2乗に比例する振幅を有しかつ角周波数 $2\omega_p$ すなわち周波数 $2f_p$ を有する信号 S_4 によって周波数変調された発振信号である。このとき、上記周波数変調された発振信号の周波数偏移は、信号 S_3 の振幅と、信号 S_4 の振幅に比例する。

【0054】 上記FM復調回路26は、上記発振信号をFM復調処理して、3次の誘電率 ϵ_3 と交流電界 E_p の振幅 E_p に比例する振幅を有しかつ周波数 f_p を有する信号 S_3 と、4次の誘電率 ϵ_4 と交流電界 E_p の振幅 E_p の2乗に比例する振幅を有しかつ周波数 $2f_p$ を有する信号 S_4 を含む復調信号をロックインアンプ27の端子T1に出力する。

【0055】 ロックインアンプ27において、混合器277aは、増幅された後に同相分配された一方の復調信号と、波形整形されかつ90度移相された基準信号とを乗算して混合し、上記復調信号の周波数と上記基準信号の周波数の和と差の周波数を有する信号に変換して低域通過フィルタ278aに出力し、低域通過フィルタ278aは、混合後の信号のうち直流成分である出力電圧 $|V_a| \sin \phi$ のみを端子T3を介して表示制御部28に出力する。一方、混合器277bは、同相分配された他方の復調信号と波形整形された基準信号とを乗算して混合し、上記復調信号の周波数と上記基準信号の周波数の和と差の周波数を有する信号に変換して、低域通過フィルタ278bに出力し、低域通過フィルタ278bは、混合後の信号のうちの直流成分である出力電圧 $|V_a| \cos \phi$ のみを端子T4を介して表示制御部28に出力する。

【0056】 ここで、信号 S_3 は上記基準信号の周波数 f_p を有する信号であるので、上記混合器277aと上記混合器277bはそれぞれ、上記基準信号と周波数 f_p を有する信号 S_3 とを乗算して混合したときに発生する直流信号である出力電圧 $|V_a| \sin \phi$ と出力電圧 $|V_a| \cos \phi$ を出力する。すなわち出力電圧 V_{a1} と出力電圧 V_{a2} は位相差 ϕ と3次の誘電率 ϵ_3 に対応した電圧になる。ここで特に、3次の誘電率 ϵ_3 が実数であってかつ正の値のときには、数25から明らかなように、キャパシタンス変化量 ΔC_3 と交流電界 E_p は同相で変化する。また、数30から明らかなように、上記キャパシタンス変化量 ΔC_3 は、共振周波数変化量 Δf_{lc} と逆相で変化する。以上のことから、3次の誘電率 ϵ_3 が実数であってかつ正の値のときには、共振周波数変化量 Δf_{lc} は交流電界 E_p と逆相で変化する。さらに、交流電界 E_p と交流電圧 V_p は同相で変化するのので、3次の誘電率 ϵ_3 が実数であってかつ正の値のときには、上記基準信号と上記信号 S_3 の位相差 ϕ は π になる。また同様に3次の誘電率 ϵ_3 が実数であってかつ負の値のときには、上記基準信号と上記信号 S_3 の位相差 ϕ は0になる。以上のように、3次の誘電率 ϵ_3 が実数のときには、上記基準信号と上記信号 S_3 の位相差 ϕ は0か π の値をとり、出力電圧 V_{a1} は、0となり、出力電圧 V_{a2} のみが出力される。また、3次の誘電率 ϵ_3 が正のときには、位相差 ϕ は π になって出力電圧 V_{a2} はマイナスの値で出力されて、3次の誘電率 ϵ_3 が負のときには、位相差 ϕ は0になって出力電圧 V_{a2} はプラスの値で出力される。

【0057】 次に、表示制御部28は、入力される電圧 V_{a1} 、 V_{a2} から位相差 ϕ と電圧 $|V_a|$ を演算して、機構制御部25から入力される位置信号と、電圧 V_{a1} 、 V_{a2} 、 $|V_a|$ と、上記位相差 ϕ のうちから指定されるパラメータをディスプレイ29の表示画面上に表示するようにディスプレイ29を制御する。これにตอบสนองして、上記ディスプレイ29は表示制御部28の指示信号に従って各パラメータの各値を表示する。

【0058】 以上詳述したように、上記測定電極50と上記電極4に交流電界 V_p を印加して上記誘電体試料2の微小領域2aに交流電界 E_p を発生させると、上記発振器20は、上記信号 S_3 を含む信号によって周波数変調された発振信号を発振して発生する。次にFM復調回路26は、上記発振信号をFM復調して上記信号 S_3 を含む復調信号を発生する。さらに、ロックインアンプ27は、上記復調信号を周波数 f_p を有する基準信号に基づいて上記復調信号を同期検波して、上記信号 S_3 の振幅に比例した、すなわち上記微小領域2aの3次の誘電率 ϵ_3 と上記交流電圧 V_p の振幅に比例した直流信号を出力する。従って、上記機構部7と機構制御部25によって、上記微小領域2aの位置を順次変えて上記直流信号を測定することによって、各微小領域2aの電氣的領

域における3次の誘電率 ϵ_3 の違いを上記直流信号の値によって観測することができる。また、上記基本回路を備えた非線形誘電率測定装置は、上記ロックインアンプ27を備え、上述したように、位相差 ϕ の値も出力できるので、3次の誘電率 ϵ_3 をその絶対値と位相の形で観測することもできる。一方、材料の分極は、それを構成するミクロな双極子の体積平均値で与えられるが、この分極が完全に一方向を向いたとき、材料の一軸異方性も最も大きくなり、その結果、3次の誘電率 ϵ_3 も最大になる。これとは逆に、ミクロな双極子がランダムな方向を向くと、その結果、分極も0となり、測定方向に方向性がなくなるので、3次の誘電率 ϵ_3 も0となる。また、分極が逆方向を向いた場合は、3次の誘電率 ϵ_3 はその符号を変える。材料の分極と3次の誘電率の間には、以上のような関係があるので、測定された3次の誘電率 ϵ_3 に基づいて、上記誘電体試料2の微小領域2aにおける分極の状態を観測する事ができる。

【0059】以上の基本回路においては、基準信号に周波数 f_p を有する交流電圧 V_p を用いて構成して3次の誘電率 ϵ_3 を測定しているが、本発明はこれに限らず、周波数 $2f_p$ を有する信号を基準信号として用いて、4次の誘電率 ϵ_4 を求めるように構成してもよい。以上のようにして、電氣的領域における非線形誘電率を測定することができる。

【0060】また、ロックインアンプ27を用いて復調信号を同期検波しているので、基準信号に同期しない所望されない他の雑音を除去して、ロックインアンプ27で得られる直流信号の信号電力対雑音電力比 S/N を大幅に改善することができ、3次の誘電率 ϵ_3 の測定の精度をさらに高めることができる。

【0061】以上の基本回路においては、ロックインアンプ27の出力を観測しているが、本発明はこれに限らず、FM復調回路26から出力される復調信号を観測して誘電体試料2の微小領域2aにおける3次の誘電率 ϵ_3 を測定するようにしてもよい。この場合においては、発振器20における変調指数を1より十分に小さい値に設定して、搬送波と側波帯のエネルギーが概ね、搬送波と第1上側波帯と第1下側波帯に含まれるようにする。このときの第1上側波帯及び第1下側波帯のうちの少なくとも1つの振幅をスペクトラムアナライザなどで測定することにより、ロックインアンプ27を使用したときの出力電圧 V_a （直流信号の絶対値）に比例した信号電圧を得ることができ、上述と同様に3次の誘電率 ϵ_3 を測定することができる。また、第2上側波帯及び第2下側波帯のうちの少なくとも1つの振幅をスペクトラムアナライザなどで測定することにより、4次の誘電率 ϵ_4 を測定することができる。

【0062】＜第一の実施例＞図3は本発明に係る第一の実施例の非線形誘電率測定装置の構造を示すブロック図である。図3の第一の実施例の非線形誘電率測定装置

は、図1のLC共振回路に代えてリエントラント型空洞共振器30を備えて共振回路部10aを構成したことを特徴とする。第一の実施例の非線形誘電率測定装置は、共振回路部10a以外の構成は、上述の基本回路と同様に構成される。以上のような構成により、第一の実施例の非線形誘電率測定装置は、電氣的領域の非線形誘電率を測定することができる。以下、図面を用いて第一の実施例の非線形誘電率測定装置の構成を説明する。

【0063】図4は、誘電体試料2と接したときのリエントラント型空洞共振器30の断面図であり、図5はリエントラント型空洞共振器30を誘電体試料2と接する方向から見た平面図である。上記誘電体試料2は、図4に示すように、図1の誘電体試料2と同様、略平行な上面と下面を有し、誘電体試料2の下面には電極4が形成される。上記リエントラント型空洞共振器30は、導体ケース31と、中心導体32と、コネクタ40とによって構成される。上記導体ケース31は、誘電体試料2の表面と接する円環状の接触表面部33を備えた下底面と、厚さ方向に貫通して形成されコネクタ40を取り付けるための円形状の孔34を備えた上底面を有する円筒状の導体からなる。また、上記中心導体32は、円柱状の導体からなり、中心導体32の軸と上記導体ケース31の軸が一致するように、その一端は上記導体ケース31の上底面の中央部に連結される一方、その他端は円すい状に細くなるように形成されて、その先端に誘電体試料2の微小領域2aに所定の接触面積を有して接触する先端部35を備える。コネクタ40は、外導体41と絶縁体42と中心導体43を備えて構成され、上記中心導体43は導体ケース31と絶縁された状態で上記孔34を貫通する。そして中心導体43は、接続導体44を介して上記中心導体32と接続される。また、上記外導体41は、上記導体ケースと電氣的に接続されて、コネクタ40が上記導体ケース31に固定される。以上のような構成によって、上記接触表面部33と電極4との間に挟設された誘電体試料2の一部分である円環形状の領域2bによってキャパシタンス C_g が形成され、先端部35と電極4との間に挟設された誘電体試料2の微小領域2aによってキャパシタンス C_s が形成される。ここで、先端部35の接触面積は接触表面部33が誘電体試料2に接触する接触面積に比較すると十分小さくなるように構成される。

【0064】図3に示すように、交流電源9は、交流電圧 V_p を上記リエントラント型空洞共振器30の導体ケース31と電極4に印加することにより、微小領域2aと領域2bに交流電界 E_p を発生させる一方、上記交流電圧 V_p を基準信号として、ロックインアンプ27に出力する。またさらに、機構部7はその上面に形成された絶縁部8を備え、上記誘電体試料2をその表面上に載置して保持し、かつ機構制御部25からの制御信号に応答して、誘電体試料2を上記中心導体32の先端部35と

ラント空洞共振器 30 の共振周波数 f_0 は、上記キャパシタンス C_s のキャパシタンス変化量 ΔC に比例して共振周波数変化量 Δf だけ変化するので、上記発振周波数 f_{osc} も同様に、上記キャパシタンス C_s のキャパシタンス変化量 ΔC に比例して変化する。また、キャパシタンス変化量 ΔC は、数 27 で与えられるので、3 次の誘電率 ϵ_3 と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} に比例する振幅を有しかつ角周波数 ω_p を有して交番的に変化するキャパシタンス変化量 ΔC_3 と、4 次の誘電率 ϵ_4 と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} の 2 乗に比例する振幅を有しかつ角周波数 $2\omega_p$ を有して交番的に変化するキャパシタンス変化量 ΔC_4 を含む。従って、上記発振信号は、3 次の誘電率 ϵ_3 と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} に比例する振幅を有しかつ角周波数 ω_p すなわち周波数 f_p を有する信号 S_3 と、4 次の誘電率 ϵ_4 と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} の 2 乗に比例する振幅を有しかつ角周波数 $2\omega_p$ すなわち周波数 f_p を有する信号 S_4 によって周波数変調された発振信号である。従って図 1 の基本回路の説明において上述したように、同様に、上記発振信号を復調後、同期検波することによって、電氣的領域の 3 次の誘電率 ϵ_3 を測定することができ、さらに当該 3 次の誘電率 ϵ_3 の測定結果をもとにして、分極分布を求めることができる。

【0076】第一の実施例の非線形誘電率測定装置においては、上記リエントラント型空洞共振器 30 を用いているので、発振器 20 a の発振周波数を基本回路の非線形誘電率測定装置に比べると高く設定することができる。これによって、最大周波数偏移を大きくすることができ、従来例に比較してより高感度でかつより高い精度で 3 次の誘電率 ϵ_3 の測定をすることができる。

【0077】次に第一の実施例の非線形誘電率測定装置を用いた測定例を説明する。図 7 は、以下の測定に用いた Z カット $LiNbO_3$ の平面図であり、図 8 は、図 7 の Z カット $LiNbO_3$ を誘電体試料 2 として用いて測定した測定結果を示したグラフである。Z カットとは、光軸に垂直な面で切り出した結晶である。

【0078】図 8 は、図 7 の Z カット $LiNbO_3$ を用いて測定したときの X 軸上の X0 からの距離 X におけるロックインアンプ 27 の出力電圧 $|V_a|$ と、発振搬送波の発振周波数 f_0 を示したグラフである。ここで、発振搬送波とは、誘電体試料 2 に電圧 V_p を印加したときの、周波数変調がされていない発振信号のことである。従って、この発振搬送波は、交番的な変化を伴わないキャパシタンスの変化によって変化する。図 8 から明らかなように、ロックインアンプ 27 の出力電圧 $|V_a|$ は、X 軸上の位置によってそれぞれ異なった値が出力されている。これは、それぞれの位置によって、3 次の誘電率 ϵ_3 が異なることを示している。また、発振搬送波の発振周波数は、X 軸上の X0 からの距離 X が約 3 mm の位置で最大値をとり、そこから離れるに従って、小さくなっている。これは、誘電体試料 2 として用

いた Z カット $LiNbO_3$ の中央部で 2 次の誘電率 ϵ_2 である線形誘電率が小さくなっているか、または当該中央部で試料の厚さが厚くなっているためと考えられる。以上のように、第一の実施例の非線形誘電率測定装置を用いると、線形誘電率と分離して 3 次の誘電率 ϵ_3 を観測することができ、かつ 3 次の誘電率 ϵ_3 がそれぞれの微小領域によって異なっていることが観測できる。これによって、それぞれの微小領域の分極の状態が異なることを観測することができる。

【0079】図 9 は、分極の状態が異なる誘電体試料 2 を第一の実施例の非線形誘電率測定装置を用いて測定したときの、それぞれの位置におけるロックインアンプ 27 の出力電圧 V_{a2} を図式的に示したグラフである。図 9 から明らかなように、分極 P1 が誘電体試料 2 の電極 4 に接する面から他方の面に向かって誘電体試料 2 の厚さ方向に平行に分布している領域であって、3 次の誘電率 ϵ_3 が正である領域では、ロックインアンプ 27 の出力電圧 V_{a2} は負の電圧である V2 を出力する。分極 P2 が誘電体試料 2 の上記他方の面から電極 4 に接する面に向かって誘電体試料 2 の厚さ方向に平行に分布している領域であって、3 次の誘電率 ϵ_3 が負である領域では、ロックインアンプ 27 の出力電圧 V_{a2} は正の電圧である V1 を出力する。分極 P3 が誘電体試料 2 の電極 4 に接する面から他方の面に向かって誘電体試料 2 の厚さ方向に平行に分布している領域であって、3 次の誘電率 ϵ_3 が正である領域では、ロックインアンプ 27 の出力電圧 V_{a2} は負の電圧である V2 を出力する。以上のように、第一の実施例の非線形誘電率測定装置を用いると、3 次の誘電率 ϵ_3 が正と負の領域を有する誘電体試料 2 では、3 次の誘電率 ϵ_3 が正の領域と、3 次の誘電率 ϵ_3 が負の領域では、ロックインアンプ 27 の出力電圧 V_{a2} の正負が反転して出力されるので、容易に当該領域の 3 次の誘電率 ϵ_3 の正負を判別することができる。すなわち、当該領域における分極の方向を判別することができる。

【0080】＜誘電体記録読取装置＞図 10 は、上述した電氣的領域の 3 次の誘電率 ϵ_3 が正のときには、復調信号のうちの信号 S_3 と基準信号の位相差 ϕ が π になり、電氣的領域の 3 次の誘電率 ϵ_3 が負のときには、信号 S_3 と基準信号の位相差 ϕ が 0 になることを利用した誘電体記録読取装置のブロック図である。当該誘電体記録読取装置は、詳細後述するように、誘電体膜 102 の分極を厚さ方向でかつデジタル信号の 1 と 0 の信号に対応する向きを有するように記録した誘電体テープ 100 の誘電体記録読取装置である。

【0081】図 10 の誘電体記録読取装置は、(a) 周波数 f_p を有する交流電圧 V_p を金属膜 104 と測定電極 50 に印加することによって誘電体膜 102 に交流電界 E_p を発生させて、かつ上記交流電圧 V_p を基準信号として出力する交流電源 9 と、(b) 上記誘電体膜 10

19

2を含む共振回路部10bを備え上記交流電圧Vpが上記誘電体膜102に印加されたときに発振周波数が上記周波数fpと誘電体膜102の分極の向きに対応して発振周波数が変化する発振信号を発生する発振器20bと、(c)上記発振信号を周波数復調して上記周波数fpと分極の向きに対応した位相差φを有する信号を復調信号として出力するFM復調回路26と、(d)上記基準信号に基づいて上記復調信号と基準信号との位相差を検出して、上記誘電体膜102の分極の向きに対応した位相差φを出力する位相検出器56を備え、上記誘電体膜102に記録されたデジタル信号に対応した位相差φを出力するように構成したことを特徴とする。

【0082】以下図面を用いて誘電体記録読取装置の構成を詳細に説明する。

【0083】図10に示すように、上記共振回路部10bは、誘電体テープ100と、測定電極50と、テープ保持部55a、55b、55cと、コイル6とによって構成される。誘電体テープ100は、金属膜104と強誘電体からなる誘電体膜102とによって構成され、テープ状に形成されたテープベースとなる金属膜104上に強誘電体からなる誘電体膜102を例えばスパッタリングなどの公知の方法によって密着形成して構成される。また上記誘電体テープ100は、以下のように、1と0の2種類の信号からなるデジタル信号が記録されている。上記デジタル信号が1のときには、誘電体膜2が有する分極は、上記金属膜104と密着した誘電体膜102の一方の表面102bから誘電体膜102の他方の表面102aに向かう方向に分極処理がされ、上記デジタル信号が0のときには、誘電体膜2が有する分極は、上記表面102bから上記表面102aに向かう方向に向くように分極処理がされる。測定電極50は、円錐状の先端部50aを有する導体によって構成され、上記先端部50aが上記誘電体膜102の上記表面102aに接するように固定される。また、テープ保持部55a、55b、55cは、誘電体テープ100の幅より長い所定の軸方向の長さを有する円柱状の導体からなる。テープ保持部55aとテープ保持部55bは、それぞれの軸が誘電体テープ100の幅方向と平行になるように、かつ誘電体テープ100をそれぞれの円周面で挟むように互いに対向して回転可能に設けられる。また、テープ保持部55cは、その軸が誘電体テープの幅方向と平行になるように、かつ測定電極50の先端部50aと対向して誘電体テープ100を所定の圧力で押さえるように回転可能に設けられる。そして、テープ保持部55aとテープ保持部55bは、誘電体テープ100を挟設して所定の圧力で押さえながら、互いに反対方向に所定の回転数で回転して、誘電体テープ100をその長手方向に所定のスピードで走行させる。ここで、テープ保持部55aは、誘電体テープ100の金属膜104に接する一方、テープ保持部55bは、誘電体膜102に接する。

20

【0084】さらに、コイル6はインダクタンスLを有し、その一端が上記測定電極50と負性抵抗部5に接続され、その他端が上記テープ保持部55cに接続されている。以上のように共振回路部10bは構成される。またさらに、交流電源9は、上記テープ保持部55aとアース間に接続されて、上記測定電極50と、上記テープ保持部55aを介して金属膜104に交流電圧Vpを印加することによって、上記測定電極50と上記テープ保持部55cの間に位置する誘電体膜102の微小領域102aに交流電界Epを発生させる一方、上記交流電圧Vpを基準信号として位相検出器56に出力する。

【0085】以上のように構成された共振回路部10bにおいて、測定電極50の先端部50aと、金属膜104と、上記測定電極50の先端部50aと上記金属膜104とによって挟まれた誘電体膜102はキャパシタンスCsを形成して、さらに、上述のようにコイル6は上記キャパシタンスCsに並列に接続されているので、上記キャパシタンスCsと上記コイル6はLC共振回路を構成する。このLC共振回路は負性抵抗回路5に接続されて、発振器20bを構成する。発振器20bは、詳細後述するように、キャパシタンスCsの変化に対応して周波数変調された発振信号を発振して発生しFM復調回路26に出力する。FM復調回路26は、周波数変調された発振信号を復調して復調信号を位相検出器56に出力する。また、位相検出器56は、例えばロックインアンプ27を備えて構成され、上記ロックインアンプ27の出力電圧Va1、Va2から数4を用いて位相差φを演算して出力する。

【0086】以上のように構成された誘電体記録読取装置において、交流電源9が、上記測定電極50と、上記テープ保持部55aを介して金属膜104に交流電圧Vpを印加することによって、上記測定電極50と上記テープ保持部55cの間に位置する誘電体膜102の微小領域102aに交流電界Epを発生させると、図1の基本回路の説明において上述したように、上記発振器20bは、上記微小領域102aの3次の誘電率ε3と上記交流電圧Vpに比例した振幅を有しかつ上記周波数fpを有する信号を含む信号S3によって周波数変調された発振信号を発振して発生する。ここで、上記3次の誘電率ε3が正の実数のとき、すなわちデジタル信号が1のときには、上記周波数fpを有する信号の基準信号との位相差φはπであり、上記3次の誘電率ε3が負の実数のとき、すなわちデジタル信号が0のときには、上記周波数fpを有する信号の基準信号との位相差φは0である。次にFM復調回路26は、上記発振信号を復調して上記微小領域102aの3次の誘電率ε3と上記交流電圧Vpに比例した振幅を有しかつ上記交流電圧Vpと同じ周波数fpを有しさらに上述のデジタル信号に対応した位相差φを有する信号を含む復調信号を発生する。さらに位相検出器56は、上記復調信号を周波数fpを有

する基準信号に基づいて上記復調信号を同期検波して、上記微小領域 102 a の 3 次の誘電率 ϵ_3 の正負に対応して、0 か又は π の位相差 ϕ を出力する。従って、上記テープ保持部 55 a, 55 b が所定のスピードで回転することによって、上記誘電体テープ 100 を走行させ、上記微小領域 102 a の位置を順次変えて上記位相差 ϕ を検出することによって、各微小領域 102 a の 3 次の誘電率 ϵ_3 の正負を上記位相差 ϕ の値によって観測することができる。また、上述したように 3 次の誘電率 ϵ_3 の正の値は、測定電極 50 から金属膜 104 に向かう方向を有する分極に対応し、3 次の誘電率 ϵ_3 の負の値は、金属膜 104 から測定電極 50 に向かう方向を有する分極に対応する。すなわち、上記各微小領域 102 a の分極の向きを検出することができ、上記デジタル信号を読み取ることができる。ここで、上記誘電体膜 102 への上記デジタル信号の記録には、例えば、上記微小領域 102 a に直流電界が発生するように上記測定電極 50 と上記金属膜 104 に直流電圧を印加するなどの分極処理が用いられる。

【0087】<第二の実施例>図 11 は、第二の実施例の誘電体記録読取装置の構成を示すブロック図である。図 11 の第二の実施例の誘電体記録読取装置は、図 10 の応用回路の LC 共振回路に代えてリエントラント型空洞共振器 30 を備えて共振回路部 10 c を構成したことを特徴とする。図 11 のリエントラント型空洞共振器 30 は、図 4 と図 5 に示した第一の実施例のリエントラント型空洞共振器 30 と同様に構成される。また、テープ保持部 55 a, 55 c は、誘電体テープ 100 の幅より長い所定の軸方向の長さを有する円柱状の導体からなり、それぞれの軸が誘電体テープ 100 の幅方向に平行になるように、かつ、リエントラント型空洞共振器 30 の表面接触部 33 に対向して、上記表面接触部 33 との間に誘電体テープ 100 を保持するように回転可能に設けられる。そして、テープ保持部 55 a, 55 c は、所定の回転数で回転することによって上記誘電体テープ 100 をその長手方向に所定のスピードで走行させる。

【0088】また、交流電源 9 は、上記テープ保持部 55 a とリエントラント型空洞共振器 30 に交流電圧 V_p を印加することによって、先端部 35 と金属膜 104 に挟設された誘電体膜 102 の微小領域 102 a と接触表面部 33 と金属膜 104 に挟設された誘電体膜 102 の領域 102 b に交流電界 E_p を発生させる。またさらに、第二の実施例の誘電体記録読取装置において、図 10 の誘電体記録読取装置の位相検出器 56 に代えて、ロックインアンプ 27 a を備えて構成される。上記ロックインアンプ 27 a は出力電圧 V_{a2} のみが出力されるように構成される。共振回路部 10 c とロックインアンプ 27 a 以外の構成は、上述の図 10 の誘電体記録読取装置と同様に構成される。

【0089】以上のように構成された第二の実施例の誘

電体記録読取装置において、上記交流電源 9 が、上記リエントラント型空洞共振器 30 とテープ保持部 55 a に交流電圧 V_p を印加すると、上記誘電体膜 102 の微小領域 102 a と、領域 2 b に交流電界 E_p が発生する。上記微小領域 102 a と上記領域 102 b はどちらも上記交流電界 E_p によって誘電率が変化してキャパシタンス C_s , C_g が変化する。

【0090】上記リエントラント型空洞共振器 30 の共振周波数は、上述のように微小領域 102 a の誘電率の変化に伴うキャパシタンス C_s の変化に対応して変化する。これによって、発振器 20 c はキャパシタンス C_s の変化に対応して周波数変調された発振信号を発振して発生する。従って、上記テープ保持部 55 a, 55 c が回転することによって、誘電体テープ 100 をその長手方向に走行させて、上記微小領域 102 a の位置を順次変えて上記出力電圧 V_{a2} を測定することによって、各微小領域 102 a の 3 次の誘電率 ϵ_3 の正負を上記出力電圧 V_{a2} の正負によって判別することができる。すなわち、上述のように、デジタル信号に対応した上記各微小領域 102 a の分極の向きを検出することができ、上記デジタル信号を読み取ることができる。

【0091】第二の実施例の誘電体記録読取装置においては、上記リエントラント型空洞共振器 30 を用いているので、発振器 20 c の発振周波数を図 10 の応用回路の誘電体記録読取装置に比べると高く設定することができる。これによって、最大周波数偏移を大きくすることができるので、図 1 の誘電体記録読取装置に比較してより高感度で、かつより高精度の誘電体記録読取装置を構成することができる。

【0092】図 12 は、第二の実施例の誘電体記録読取装置を用いた測定例を示す図であって、誘電体テープ 100 のスタート点からの距離とロックインアンプ 27 a の出力電圧 V_{a2} との関係を示すグラフである。ここで、上記リエントラント型空洞共振器 30 の先端部 35 は、直径 D が 1.6 mm の円形になるよう構成されているので、上記誘電体テープ 100 のスタート点からの距離は、上記直径である 1.6 mm を単位として表示した。図 12 から明らかなように、上記誘電体膜 102 の有する分極の向きが、誘電体膜 102 の表面 102 d から誘電体膜 102 の表面 102 c に向かう方向に分極処理されている領域では、ロックインアンプ 27 a の出力電圧 V_{a2} は負であって、分極の向きが、上記表面 102 c から上記表面 102 d に向かう方向に分極処理がされている領域では、出力電圧 V_{a2} は正である。以上のように、第二の実施例の誘電体記録読取装置を使用すると、分極の向きによって記録された情報がロックインアンプ 27 a の出力電圧 V_{a2} の正負として出力されるので、当該情報を容易に読み取ることができる。

【0093】<第三の実施例>図 13 は、他の応用例である第三の実施例の非線形誘電率測定装置の構成を示す

ブロック図である。第三の実施例の非線形誘電率測定装置は、詳細後述するように、強誘電体からなる誘電体試料2に交流電界 E_p を印加すると、上記誘電体試料2の反射率が上記交流電界 E_p にしたがって変化することを利用して、上記誘電体試料2の光学的領域における非線形誘電率の1つであるポッケルス定数を測定する非線形誘電率測定装置である。

【0094】以下、図面を用いて第三の実施例の非線形誘電率測定装置の構成を説明する。図13に示すように、反射光測定部60は、キャパシタ部1と、レーザダイオード21と、交流電源9と、ハーフミラー57と、フォーカスレンズ58と、機構部7と、機構制御部25と、光電変換器51とによって構成される。キャパシタ部1は、誘電体試料2が互いに対向する透明電極3と電極4によって挟設されて構成される。レーザダイオード21は、所定波長の光ビームを発生して、当該光ビームをハーフミラー57とフォーカスレンズ58と透明電極3を介して誘電体試料2の一部分である微小領域2aの表面に照射する。交流電源9は、上記透明電極3と上記電極4に接続されて、上記誘電体試料2に100MHzから1000MHzの間の所定の周波数を有する交流電圧 V_p を印加する一方、当該交流電圧 V_p を基準信号として混合器53bに出力する。ハーフミラー57は、レーザダイオード21が発生する光ビームがフォーカスレンズ58を介して上記誘電体試料2の微小領域2aの表面に集光到達するように透過する一方、上記微小領域2aの表面によって反射された後フォーカスレンズ58を介して入射する光ビームを反射して、光ビーム信号である当該反射光を光電変換器51に照射する。ここで、上記反射光は、後述するように上記交流電圧 V_p と同じ周波数を有し、かつ上記交流電圧 V_p の振幅に比例した振幅を有する信号を含む信号によって強度変調された光ビーム信号である。光電変換器51は、入力される反射光である光ビーム信号を光電変換して、上記交流電圧 V_p と同じ周波数を有し、かつ上記交流電圧 V_p の振幅に比例した振幅を有する信号を含む電気信号を発生して、増幅器52を介して電気信号処理部70の混合器53aに出力する。

【0095】上記機構部7は、キャパシタ部1をその表面上に載置して保持し、かつ機構制御部25からの制御信号に応答してキャパシタ部1をレーザダイオード21からの光ビームの照射方向に対して垂直な方向で1次元方向又は2次元方向に移動させる。キャパシタ部1が機構部7によって、このように移動されることにより、上記光ビームが照射される誘電体試料2の微小領域2aが1次元方向又は2次元方向に移動される。機構制御部25は、上記制御信号を発生するとともに、当該制御信号に対応し上記誘電体試料2の微小領域2aの移動位置を示す位置信号を発生して表示制御部28に出力する。

【0096】また、電気信号処理部70は、増幅器52

と、局部発振器54と、混合器53a、53bと、ロックインアンプ27と、表示制御部28と、ディスプレイ29とによって構成される。局部発振器54は、上記交流電圧 V_p の有する周波数 f_p より低い所定の局部発振周波数を有する局部発振信号を発生して発生し、混合器53aと混合器53bに出力する。混合器53aは、増幅器52からの電気信号と、上記局部発振信号を混合して、上記電気信号の周波数と上記局部発振周波数の和と差の周波数を有する信号に周波数変換して帯域通過フィルタ59aに出力する。上記帯域通過フィルタ59aは、上記電気信号の周波数と上記局部発振周波数の和と差の周波数を有する信号のうち、周波数 f_p と上記局部発振周波数の差の周波数を有する信号のみを通過させて、ロックインアンプ27の端子T1に出力する。一方混合器53bは、入力される基準信号と上記局部発振信号を混合して、上記基準信号の周波数 f_p と上記局部発振周波数の和と差の周波数を有する信号に周波数変換して、上記帯域通過フィルタ59bに出力する。上記帯域通過フィルタ59bは、上記基準信号の周波数 f_p と上記局部発振周波数の差の周波数を有する信号のみを通過させて、ロックインアンプ27の端子T2に出力する。また、ロックインアンプ27と、表示制御部28と、ディスプレイ29は、第一の実施例の非線形誘電率測定装置と同様に構成される。

【0097】以上のように構成された第三の実施例の非線形誘電率測定装置において、上記誘電体試料2に、光ビームを照射すると、上記光ビームは上記誘電体試料2の微小領域2aの表面で反射される。このとき上記誘電体試料2の光の反射率 R は、上記誘電体試料2の屈折率 n を用いて数42のように表わすことができる。また、上記屈折率 n は、上記誘電体試料2の誘電率 ϵ_s と真空中の誘電率 ϵ_0 を用いて数43のように表わすことができる。

【0098】

【数42】 $R = \{ (1 - n) / (1 + n) \}^2$

【数43】 $n = \sqrt{(\epsilon_s / \epsilon_0)}$

【0099】また、交流電源9によって、透明電極3と電極4に周波数 f_p を有する正弦波である交流電圧 V_p を印加すると、上記誘電体試料2の厚さ方向と平行に、上記交流電圧 V_p の振幅に比例した振幅と上記交流電圧 V_p の周波数 f_p と同じ周波数を有する正弦波である交流電界 E_p を発生する。これによって、上記屈折率 n と反射率 R は、後述するように交流電界 E_p に応じてそれぞれ屈折率変化量 Δn と反射率変化量 ΔR だけ変化する。ここで、交流電圧 V_p が印加されていないときの屈折率を n_0 とすると屈折率 n は、次の数44で表わすことができ、誘電体試料2に交流電圧 V_p が印加されていないときの反射率を R_0 とすると、反射率 R は次の数45で表わすことができる。

【0100】

25

$$【数44】 n = n_0 + \Delta n$$

$$【数45】 R = R_0 + \Delta R$$

【0101】次に、数44で表される屈折率 n と数45で表される反射率 R を数42に代入して変形すると、反射率 R は数46のように表わすことができる。

$$【0102】$$

$$【数46】 R_0 + \Delta R = \{(1 - n_0)/(1 + n_0)\}^2 \{[1 - \Delta n/(1 - n_0)]/[1 + \Delta n/(1 + n_0)]\}^2$$

【0103】ここで、上記屈折率変化量 $\Delta n \ll n_0$ かつ屈折率変化量 $\Delta n \ll 1$ であるので、 $(\Delta n)^2 = 0$ とすることができ。また、反射率 R_0 は、数42から明らかに、屈折率 n_0 を用いて数47のように表わすことができる。以上のことから数46は次の数48のように書き換えることができる。さらに、数48から反射率変化量 ΔR は数49、数50のように表わすことができる。

$$【0104】$$

$$【数47】 R_0 = \{(1 - n_0)/(1 + n_0)\}^2$$

$$【数48】 R_0 + \Delta R = R_0 \{1 - 2\Delta n/(1 - n_0) - 2\Delta n/(1 + n_0)\}$$

$$【数49】$$

$$\Delta R = R_0 \{-2\Delta n/(1 - n_0) - 2\Delta n/(1 + n_0)\}$$

$$【数50】 \Delta R = -4R_0\Delta n/(1 - n_0^2)$$

【0105】一方、透明電極3と電極4に交流電圧 V_p を印加することによって、上記誘電体試料2の微小領域2aに交流電界 E_p を発生させると、上記交流電界 E_p に応じて誘電率 ϵ_s は、誘電率変化量 $\Delta \epsilon$ だけ変化する。交流電圧 V_p が印加されていないときの、誘電率を ϵ_{s0} とすると、誘電率 ϵ_s は次の数51で表わすことができる。さらに、数51で表される誘電率 ϵ_s を用いると、交流電圧 V_p が印加されたときの屈折率は、数52のように表わすことができる。

$$【0106】$$

$$【数51】 \epsilon_s = \epsilon_{s0} + \Delta \epsilon$$

$$【数52】 n_0 + \Delta n = \{(\epsilon_{s0} + \Delta \epsilon)/\epsilon_0\}^{1/2}$$

【0107】また、数52において、 $\Delta \epsilon \ll \epsilon_{s0}$ であるので、数52は近似を用いて数53のように書き表すことができる。数53において数54で表される屈折率 n_0 を用いると屈折率変化量 Δn は、数55のように表わすことができる。

$$【0108】$$

$$【数53】$$

$$n_0 + \Delta n = (\epsilon_{s0}/\epsilon_0)^{1/2} \{1 + (1/2)(\Delta \epsilon/\epsilon_{s0})\}$$

$$【数54】 n_0 = (\epsilon_{s0}/\epsilon_0)^{1/2}$$

$$【数55】 \Delta n = (1/2)n_0(\Delta \epsilon/\epsilon_{s0})$$

【0109】次に、数55で表される屈折率変化量 Δn を数50で表される反射率変化量 ΔR に代入すると、反射率変化量 ΔR は、次の数56で表わす事ができる。

$$【0110】$$

$$【数56】 \Delta R = -4R_0\{(1/2)n(\Delta \epsilon/\epsilon_{s0})\}\Delta$$

26

$$n/(1 - n_0^2)$$

【0111】また、公知のように、上記誘電率変化量 $\Delta \epsilon$ は、1次の電気光学定数であるポッケルス定数 r と2次の電気光学定数であるカー定数 g を用いると数57のように表わすことができる。ここで、上記ポッケルス定数 r は3次の誘電率 ϵ_3 の一種であり、上記カー定数 g は4次の誘電率 ϵ_4 の一種である。従って、ポッケルス定数 r とカー定数 g は非線形誘電率の一種である。ここでいう非線形誘電率は、光に対する応答性について観測しているの、光学領域における非線形誘電率のことである。さらに、次の数57で表される誘電率変化量 $\Delta \epsilon$ を用いると数56で表される反射率変化量 ΔR は、数58のように書き表すことができる。またさらに、数58の反射率変化量 ΔR は、数59で表される交流電界 E_p に比例する反射率変化量 ΔR_1 と数60で表される交流電界 E_p の2乗に比例する反射率変化量 ΔR_2 を用いると、数61のように表わすことができる。

$$【0112】$$

$$【数57】 \Delta \epsilon = -(\epsilon_{s0}^2/\epsilon_0)(rE_p + gE_p^2)$$

$$【数58】$$

$$\Delta R = 2\{n_0^3/(1 - n_0^2)\}R_0(rE_p + gE_p^2)$$

$$【数59】 \Delta R_1 = 2\{n_0^3/(1 - n_0^2)\}R_0rE_p$$

$$【数60】 \Delta R_2 = 2\{n_0^3/(1 - n_0^2)\}R_0gE_p^2$$

$$【数61】 \Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2$$

【0113】数61に示すように、反射率変化量 ΔR は交流電界 E_p に比例する項 ΔR_1 と交流電界 E_p の2乗に比例する項 ΔR_2 の和の形に表される。従って、誘電体試料2の微小領域2aの反射率変化量 ΔR は、ポッケルス定数と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} に比例する振幅を有しかつ角周波数 ω_p を有して交番的に変化する反射率変化量 ΔR_1 と、カー定数と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} の2乗に比例する振幅を有しかつ角周波数 $2\omega_p$ を有して交番的に変化する反射率変化量 ΔR_2 を含むので、上記反射光である光ビーム信号は、上記反射率変化量 ΔR_1 と上記反射率変化量 ΔR_2 に対応して強度が変化する。従って、上記反射光である光ビーム信号は、ポッケルス定数と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} に比例する振幅を有しかつ角周波数 ω_p すなわち周波数 f_p を有する信号 S_3 と、カー定数と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} の2乗に比例する振幅を有しかつ角周波数 $2\omega_p$ すなわち周波数 f_p を有する信号 S_4 によって強度変調された光ビーム信号になる。

【0114】上記光電変換器51は、上記強度変調された光ビーム信号を光電変換して、ポッケルス定数と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} に比例する振幅を有しかつ角周波数 ω_p すなわち周波数 f_p を有する信号 S_3 と、カー定数と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} の2乗に比例する振幅を有しかつ角周波数 $2\omega_p$ すなわち周波数 f_p を有する信号 S_4 を含む電気信号に変換して、上記増幅器52を介して混合器53aに出力する。上記混合器53aは、局

部発振器 5 4 から入力される局部発振信号と上記増幅器 5 2 を介して入力される電気信号とを混合して、上記電気信号の周波数と上記局部発振信号の周波数との和と差の周波数を有する信号に周波数変換して、上記帯域通過フィルタ 5 9 a に出力する。上記帯域通過フィルタ 5 9 a は、上記電気信号の周波数と上記局部発振信号の周波数との和と差の周波数を有する信号のうちから、周波数 f_p と上記局部発振信号の周波数の差の周波数を有する信号のみを通過させて、ロックインアンプ 2 7 の端子 T 1 に出力する。ここで、上記電気信号中、周波数 f_p を有する信号 S_3 は、上述したように、ポッケルス定数と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} に比例する振幅を有している

ので、周波数 f_p と上記局部発振信号の周波数の差の周波数を有する信号も、ポッケルス定数と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} に比例する振幅を有した信号である。
 【0115】一方混合器 5 3 b は、入力される基準信号と上記局部発振信号を混合して、上記基準信号の周波数と上記局部発振周波数の和と差の周波数を有する信号に周波数変換して、上記帯域通過フィルタ 5 9 b に出力する。上記帯域通過フィルタ 5 9 a は、上記基準信号の周波数 f_p と上記局部発振周波数の和と差の周波数を有する信号のうちから、上記基準信号の周波数 f_p と上記局部発振周波数の差の周波数を有する信号のみを通過させて、ロックインアンプ 2 7 の端子 T 2 に出力する。

【0116】ロックインアンプ 2 7 は、端子 T 1 から入力される周波数 f_p と上記局部発振信号の周波数の差の周波数を有する信号を、上記基準信号の周波数 f_p と上記局部発振信号の周波数の差の周波数を有する信号に基づいて同期検波して、出力電圧 $|V_a| \sin \phi$ を端子 T 3 を介して表示制御部 2 8 に出力し、出力電圧 $|V_a| \cos \phi$ を端子 T 4 を介して表示制御部 2 8 に出力する。周波数 f_p と上記局部発振信号の周波数の差の周波数を有する信号は、ポッケルス定数と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} に比例する振幅を有した信号であるので、出力電圧 V_{a1} と出力電圧 V_{a2} はポッケルス定数と交流電界 E_p の振幅 E_{p0} に比例した電圧になる。

【0117】次に、表示制御部 2 8 は、入力される電圧 V_{a1} 、 V_{a2} から位相差 ϕ と電圧 $|V_a|$ を演算して、機構制御部 2 5 から入力される位置信号と、電圧 V_{a1} 、 V_{a2} 、 $|V_a|$ と、上記位相差 ϕ のうちから指定されるパラメータをディスプレイ 2 9 上に表示するようにディスプレイ 2 9 を制御する。上記ディスプレイ 2 9 は表示制御部 2 8 の指示に従って、誘電体試料 2 の位置に対応させて、電圧 V_{a1} と V_{a2} と $|V_a|$ と上記位相差 ϕ のうちから指定されるパラメータを 2 次元平面上に表示する。

【0118】以上詳述したように、光ビームを照射しながら、透明電極 3 と電極 4 に交流電圧 V_p を印加して、誘電体試料 2 の微小領域 2 a に交流電界 E_p を発生させると、微小領域 2 a は、入力される光ビームを上記微小

領域 2 a のポッケルス定数と上記交流電圧 V_p の振幅に比例した振幅を有しかつ上記交流電圧 V_p と同じ周波数 f_p を有する信号にしたがって強度変調された光ビーム信号として反射する。次に光電変換器 5 1 は、上記強度変調された光ビーム信号を光電変換して上記微小領域 2 a のポッケルス定数と上記交流電圧 V_p の振幅に比例した振幅を有しかつ上記交流電圧 V_p と同じ周波数 f_p を有する信号を含む電気信号に変換する。さらにロッキンアンプ 2 7 は、基準信号に基づいて上記電気信号を同期検波して、上記微小領域 2 a のポッケルス定数と上記交流電圧 V_p の振幅に比例した直流信号を出力する。従って、上記機構部 7 と機構制御部 2 5 によって、上記光ビームの照射位置を走査して、上記直流信号を測定することによって、微小領域 2 a のポッケルス定数の違いを上記直流信号の値によって観測することができる。また、上記ポッケルス定数は、3 次の誘電率 ϵ_3 と同じく 3 階のテンソルであり対称中心を有する材料には存在しない。また、例えば分極が十分かかっている材料とそうでない材料では、ポッケルス定数の値は大きく異なる。また、分極が零になるとポッケルス定数も零になり、分極方向が反転した場合には、ポッケルス定数の符号も変わる。またさらに、結晶状態に乱れが生じると、乱れた部分では結晶の異方性が小さくなり、やはり 3 階のテンソル量であるポッケルス定数は小さくなると考えられる。従って、上記ポッケルス定数の微小領域 2 a における違いを観測することによって、上記結晶状態の不均一や永久分極のミクロな分布の大小が判断できる。

【0119】以上の第三の実施例においては、周波数 f_p を有する基準信号を用いて同期検波することによって、ポッケルス定数が観測できるように構成したが、本発明はこれに限らず、周波数が $2 \times f_p$ である基準信号に基づいて同期検波するように構成して、カー定数が観測できるように構成してもよい。以上のようにして、光学的領域における非線形誘電率を測定することができる。

【0120】＜第四の実施例＞図 1 4 は、第四の実施例の非線形誘電率測定装置の構成を示すブロック図である。第四の実施例の非線形誘電率測定装置が、第三の実施例の非線形誘電率測定装置と異なる所は、電極 4 に代えて透明電極 4 a を備えて、さらに、機構部 7 に代えて透明体からなる機構部 7 a を備えて構成されている点である。以上のような構成によって、透明電極 3 と誘電体試料 2 と透明電極 4 a と機構部 7 a を透過する透過光である光ビーム信号を電気信号に変換して、当該電気信号に基づいて、光学的領域における非線形誘電率を測定することを特徴とする。

【0121】以下、図面を用いて第四の実施例の非線形誘電率測定装置の構成を説明する。第四の実施例の非線形誘電率測定装置は、図 1 4 に示すように、第三の実施例の反射光測定部 6 0 にかえて、キャパシタ部 1 と、レ

ーザダイオード21と、交流電源9と、機構部7aと、機構制御部25と、光電変換器51とからなる透過光測定部を備えて構成される。キャパシタ部1は、誘電体試料2が互いに対向する透明電極3と透明電極4aによって挟設されて構成される。レーザダイオード21は、所定波長の光ビームを発生して、当該光ビームを透明電極3を介して誘電体試料2の一部分である微小領域2aに照射する。交流電源9は、上記透明電極3と透明電極4aに周波数 f_p を有する交流電圧 V_p を印加することによって、上記誘電体試料2の微小領域2aに周波数 f_p を有する交流電界 E_p を発生させる一方、上記交流電圧 V_p を基準信号として混合器53bに出力する。ここで、上記周波数 f_p は、100MHzから1000MHzの間の所定の周波数に設定される。ここで、上記透過光は、後述するように上記交流電圧 V_p と同じ周波数を有し、かつ上記交流電圧 V_p の振幅に比例した振幅を有する信号を含む信号によって強度変調された光ビーム信号である。光電変換器51は、入力される透過光である光ビーム信号を光電変換して、上記交流電圧 V_p と同じ周波数を有し、かつ上記交流電圧 V_p の振幅に比例した振幅を有する信号を含む電気信号を発生して、増幅器52を介して上記混合器53aに出力する。上記機構部7aは、透明体からなり、キャパシタ部1をその表面上に載置して保持し、かつ機構制御部25からの制御信号に応答してキャパシタ部1をレーザダイオード21からの光ビームの照射方向に対して垂直な方向で1次元方向又は2次元方向に移動させる。キャパシタ部1が機構部7によって、このように移動されることにより、上記光ビームが照射される誘電体試料2の微小領域2aが1次元方向又は2次元方向に移動される。機構制御部25は、上記制御信号を発生するとともに、当該制御信号に対応し上記誘電体試料2の微小領域2aの移動位置を示す位置信号を発生して表示制御部28に出力する。

【0122】 以上のように構成された、第四の実施例の非線形誘電率測定装置において、上記誘電体試料2に、交流電源9によって、透明電極3、4に交流電圧 V_p を印加すると、上記誘電体試料2の厚さ方向と平行に、上記交流電圧 V_p の振幅に比例した振幅と上記交流電圧 V_p の周波数 f_p と同じ周波数を有する交流電界 E_p を発生する。これによって、上述のように、反射率変化量 ΔR が変化する。ここで、公知のように、誘電体試料2の反射率 R と誘電体試料2の光の透過率 T との間には、数62に示す関係がある。従って反射率変化量 ΔR と透過率変化量 ΔT の間には、数63に示す関係がある。

【0123】

【数62】 $T = 1 - R$

【数63】 $\Delta T = -\Delta R$

【0124】 数63と数61から明らかなように、上記透過率変化量 ΔT は、ポッケルス定数と交流電界 E_p の振幅 E_p に比例する振幅を有しかつ角周波数 ω_p を有

して交番的に変化する透過率変化量と、カー定数と交流電界 E_p の振幅 E_p の2乗に比例する振幅を有しかつ角周波数 $2\omega_p$ を有して交番的に変化する透過率変化量 ΔT を含むので、上記透過光である光ビーム信号は、ポッケルス定数と交流電界 E_p の振幅 E_p に比例する振幅を有しかつ角周波数 ω_p すなわち周波数 f_p を有する信号と、カー定数と交流電界 E_p の振幅 E_p の2乗に比例する振幅を有しかつ角周波数 $2\omega_p$ すなわち周波数 $2f_p$ を有する信号によって強度変調された光ビーム信号である。

【0125】 従って、上記光ビーム信号を光電変換した電気信号を第五の実施例と同様な処理をすることによって、各微小領域2aのポッケルス定数の違いを上記直流信号の値によって観測することができる。以上のように、誘電体試料2の光の透過率 T が印加される電界 E_p によって変化することを利用して、各微小領域2aのポッケルス定数の違いを観測することができる。

【0126】 以上の第四の実施例においては、周波数 f_p を有する基準信号を用いて同期検波することによって、ポッケルス定数が観測できるように構成したが、本発明はこれに限らず、周波数が $2 \times f_p$ である基準信号に基づいて同期検波するように構成して、カー定数が観測できるように構成してもよい。

【0127】 以上の第三と第四の実施例においては、ロックインアンプ27の出力を観測しているが、本発明はこれに限らず、光電変換器51から出力される電気信号を観測して誘電体試料2の微小領域2aにおけるポッケルス定数を測定するようにしてもよい。この場合において、非線形誘電率測定装置は、光電変換器51から出力される電気信号のうちから周波数 f_p の信号のみを選択的にろ波する帯域通過フィルタと、100MHzから1000MHzの周波数を有する信号の波形を測定するオシロスコープなどを備えて構成される。以上のような構成によって、ポッケルス定数と交流電界 E_p の振幅 E_p に比例する電力値を得ることができ、ポッケルス定数を測定することができる。また、周波数 $2f_p$ を有する信号のみを選択的にろ波して出力する帯域通過フィルタを用いることによって、カー定数を測定することができる。以上のようにして、上述の第三の実施例の非線形誘電率測定装置と同様に、光学的領域における非線形誘電率を測定することができる。

【0128】 <第五の実施例> 図15は、上述の3次の誘電率 ϵ_3 と同様に誘電体膜102の分極の向きによってポッケルス定数 r の正負が反転することを利用した第五の実施例の誘電体記録読取装置の実施例である。図15の誘電体記録読取装置は、誘電体テープ100と、レーザダイオード21と、ハーフミラー57と、フォーカスレンズ58と、交流電源9と、テープ保持部55a、55b、55c、55dと、光電変換器51と、位相検出器56とによって構成される。誘電体テープ100

は、テープ状に形成された金属膜104上に強誘電体からなる誘電体膜102を例えばスパッタリングなどの公知の方法によって形成し、さらに上記誘電体膜102の上にITOなどの透明電極103を例えばスパッタリングなどの公知の方法によって形成して構成される。レーザダイオード21は、所定波長の光ビームを発生して、上記ハーフミラー57とフォーカスレンズ58を介して、当該光ビームを誘電体膜102の一部分である微小領域102aの表面に照射する。ここで、フォーカスレンズ58は、上記光ビームを誘電体試料2の微小部分102aに照射するように集光する。また、交流電源9は、テープ保持部55cとテープ保持部55dに交流電圧 V_p を印加することによって、上記誘電体膜102の厚さ方向に交流電界 E_p を発生させる一方、上記交流電圧 V_p を基準信号として位相検出器56に出力する。ハーフミラー57は、レーザダイオード21が発生する光ビームが上記誘電体膜102の微小領域102aの表面に照射させるように透過する一方、上記微小領域102aの表面によって反射された後フォーカスレンズ58を介して入射する光ビーム信号を反射して、当該反射光である光ビーム信号を光電変換器51に照射する。ここで、上記反射光は、上記交流電圧 V_p と同じ周波数を有し、かつ上記交流電圧 V_p の振幅に比例した振幅を有する信号を含む信号によって強度変調された光ビーム信号である。光電変換器51は、入力される反射光である光ビーム信号を光電変換して、上記交流電圧 V_p と同じ周波数を有し、かつ上記交流電圧 V_p の振幅に比例した振幅を有する信号を含む電気信号を発生して、位相検出器56に出力する。

【0129】また、テープ保持部55a、55b、55c、55dは、それぞれ誘電体テープ100の幅より長い所定の軸方向の長さを有する円柱状の導体からなる。テープ保持部55aとテープ保持部55bは、それぞれの軸が誘電体テープ100の幅方向と平行になるように、かつ誘電体テープ100をそれぞれの円周面で挟むように互いに対向して回転可能に設けられる。またさらに、テープ保持部55cとテープ保持部55dは、それぞれの軸が誘電体テープ100の幅方向と平行になるように、かつ誘電体テープ100をそれぞれの円周面で挟むように互いに対向して回転可能に設けられる。上記誘電体テープ100は、その厚さ方向が常に光ビームの照射方向と一致するように、かつフォーカスレンズ58からの距離が所定の値になるように、そして、誘電体テープ100の長手方向で走行可能に、互いにその長手方向で所定の間隔だけ離れて並置するテープ保持部55a、55bとテープ保持部55c、55dによって保持される。ここで、テープ保持部55cは、透明電極103に電氣的に接触し、テープ保持部55dは、金属膜104に電氣的に接触する。そして、テープ保持部55aとテープ保持部55bは、誘電体テープ100を挟設して所

定の圧力で押えながら、互いに反対方向に所定の回転数で回転して、誘電体テープ100をその長手方向に所定のスピードで走行させる。さらに、位相検出器56は、例えばロックインアンプ27を備えて構成され、上記ロックインアンプ27の出力電圧 V_{a1} 、 V_{a2} から数4を用いて位相差 ϕ を演算して出力する。

【0130】以上のように構成された、第五の実施例の誘電体記録読取装置において、上記誘電体テープ100に、光ビームを照射すると、上記光ビームは、上記誘電体膜102の表面で反射され、上記反射光である光ビーム信号は、上述のように、強度変調された光ビーム信号になる。

【0131】上記光電変換器51は、上記強度変調された光ビーム信号を光電変換して、ポッケルス定数と交流電界 E_p の振幅 E_p に比例する振幅を有しかつ角周波数 ω_p すなわち周波数 f_p を有する信号と、カー定数と交流電界 E_p の振幅 E_p の2乗に比例する振幅を有しかつ角周波数 $2\omega_p$ すなわち周波数 $2f_p$ を有する信号を含む電気信号に変換して、上記位相検出器56に出力する。上記位相検出器56は、基準信号に基づいて当該電気信号のうち、ポッケルス定数 r と交流電界 E_p の振幅 E_p に比例する振幅を有しかつ角周波数 ω_p すなわち周波数 f_p を有する信号の位相を検出して出力する。ここで、数59において n_0 は1より大きいので上記ポッケルス定数 r が正のときには、反射率変化量 ΔR_1 は交流電界 E_p すなわち交流電圧 V_p と逆相で変化する。従って、上記ポッケルス定数 r が正のとき、上記周波数 f_p を有する信号と基準信号の位相差 ϕ は π になる。同様に、上記ポッケルス定数 r が負のとき、上記周波数 f_p を有する信号と基準信号の位相差 ϕ は0である。すなわち、上記ポッケルス定数の正負に対応して位相差 ϕ は π 又は0の何れかが出力される。さらに、上記テープ保持部55a、55b、55cによって、上記微小領域102aの位置を順次変えて上記位相差 ϕ を測定することによって、各微小領域102aのポッケルス定数 r の正負を上記位相差 ϕ の値によって観測することができる。すなわち、上記ポッケルス定数の正負は、上記微小領域の分極の向きに対応しているため、上記各微小領域102aの分極の向きを検出することができ、上記誘電体テープ100に記録されたデジタル信号を読み取ることができる。

【0132】以上の第五の実施例では、反射光である光ビーム信号を用いて誘電体読取装置を構成したが、本発明はこれに限らず、第四の実施例と同様に、透過光である光ビーム信号を用いて構成してもよい。

【0133】また、上述の第二と第五の実施例の誘電体記録読取装置に使用される強誘電体材料は、例えば以下に示す材料が使用される。

(a) $PbTiO_3-PbZrO_3$ の固溶体であるPZT材料。

- (b) $PbTiO_3$ で表されるチタン酸鉛。
- (c) $PbZrO_3$ で表されるジルコン酸鉛。
- (d) $BaTiO_3$ で表されるチタン酸バリウム。
- (e) $LiNbO_3$ で表されるニオブ酸リチウム。
- (f) 鉛 (Pb), ランタン (La), ジルコニウム (Zr), チタン (Ti) 系の固溶体である PLZT 材料。

(g) ビスマス (Bi), ナトリウム (Na), 鉛 (Pb), バリウム (Ba) 系の固溶体である BNPB 材料などの強誘電体材料。

上記材料は、セラミックス、単結晶又は薄膜形成されたもののいずれの材料も使用可能である。また、ポリフッ化ビニリデン (PVDF)、フッ化ビニリデンと三フッ化エチレンの共重合体、フッ化ビニリデンと四フッ化エチレンの共重合体、シアノビニリデンと酢酸ビニルの共重合体などの圧電高分子材料なども使用することができる。またさらに、上記材料を複数個組み合わせた材料も使用できる。

【0134】また、上述の第二と第五の実施例の誘電体記録読取装置においては、誘電体テープ 100 を用いたが、本発明はこれに限らず円盤状の誘電体ディスクを用いてもよい。

【0135】

【発明の効果】以上詳述したように本発明に係る非線形誘電率測定装置によれば、上記第 1 の電極と第 2 の電極間に位置する上記誘電体の微小領域に、所定の周波数を有する交流信号を印加し、上記 2 つの電極と上記誘電体とを含んで構成された共振回路を備えて、上記誘電体の微小領域に上記交流信号が印加されたときに、上記交流信号の周波数と上記微小領域の非線形誘電率に対応して発振周波数が変化する発振信号を発生した後、上記発振信号を周波数復調して、上記交流信号の周波数と上記誘電体の微小領域の非線形誘電率に対応した振幅を有する電気信号を出力し、上記電気信号に基づいて上記誘電体の微小領域の非線形誘電率を測定する。これによって、従来は測定できなかった上記誘電体の微小領域の電気的領域における非線形誘電率を測定することができる。

【0136】また、上記第 1 の電極と透明材料からなる第 2 の電極間に位置する上記誘電体の微小領域に、所定の周波数を有する交流信号を印加し、さらに、第 2 の電極を介して上記誘電体の微小領域に光ビームを照射して、上記微小領域の表面によって反射される上記誘電体の微小領域の非線形誘電率と上記交流信号の周波数に対応した強度を有する反射光を電気信号に光電変換して、上記電気信号に基づいて、上記誘電体の微小領域の非線形誘電率を測定する。これによって、従来は測定できなかった上記誘電体の微小領域の光学的領域における非線形誘電率を測定することができる。

【0137】また、上記交流信号に基づいて上記電気信号を同期検波して上記電気信号に対応した直流信号を出

力する検波手段を備え、上記直流信号に基づいて上記誘電体の微小領域の非線形誘電率を測定する。従って、電気信号を同期検波しているの、上記交流信号に同期しない所望されない他の雑音を除去して、同期検波後に得られる直流信号の信号電力対雑音電力比 S/N を大幅に改善することができるので、非線形誘電率の測定精度を高めることができる。

【0138】さらに、上記第 2 の電極が上記誘電体の第 2 の面上を走査するように、または、上記光照射手段によって照射された光ビームに対して垂直に、上記誘電体を 1 次元方向又は 2 次元方向で移動する移動手段を備えたので、上記誘電体の微小領域の位置を変えて上記測定をすることによって、上記各微小領域毎の非線形誘電率の相対的な変化を測定することができるので、上記誘電体の非線形誘電率の相対的なミクロの分布を知ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明に係る非線形誘電率測定装置の基本回路の構成を示すブロック図である。

【図 2】 図 1 のロックインアンプ 27 の詳細な構成を示すロックインアンプ 27 のブロック図である。

【図 3】 本発明に係る第一の実施例の非線形誘電率測定装置の構成を示すブロック図である。

【図 4】 本発明に係る第一の実施例の非線形誘電率測定装置のリエントラント型空洞共振器 30 の断面図である。

【図 5】 図 4 のリエントラント型空洞共振器 30 を誘電体試料 2 の方向から見た平面図である。

【図 6】 図 4 のリエントラント型空洞共振器 30 が誘電体試料 2 に接したときのキャパシタ部 1 と交流電源 9 を含む等価回路の回路図である。

【図 7】 図 8 の測定結果を得るために用いた Z カット $LiNbO_3$ からなる誘電体試料 2 の平面図である。

【図 8】 図 7 の Z カット $LiNbO_3$ からなる誘電体試料 2 における X 軸上の X0 からの距離 X におけるロックインアンプ 27 の出力電圧 $|V_a|$ と、発振搬送波の発振周波数 f_0 を示したグラフである。

【図 9】 分極の状態が異なる領域を有する誘電体試料 2 を図式的に示した断面図と、当該断面図に対応して測定位置であるそれぞれの領域におけるロックインアンプ 27 の出力電圧 V_{a2} の測定結果を示すグラフである。

【図 10】 図 10 は、本発明に係る非線形誘電率測定装置の原理を応用した誘電体記録読取装置の応用回路のブロック図である。

【図 11】 第二の実施例の誘電体記録読取装置の構成を示すブロック図である。

【図 12】 第二の実施例の誘電体記録読取装置の測定例である誘電体テープ 100 のスタート点からの距離におけるロックインアンプ 27 a の出力電圧を示すグラフである。

【図13】 第三の実施例の非線形誘電率測定装置の構成を示すブロック図である。

【図14】 第四の実施例の非線形誘電率測定装置の構成を示すブロック図である。

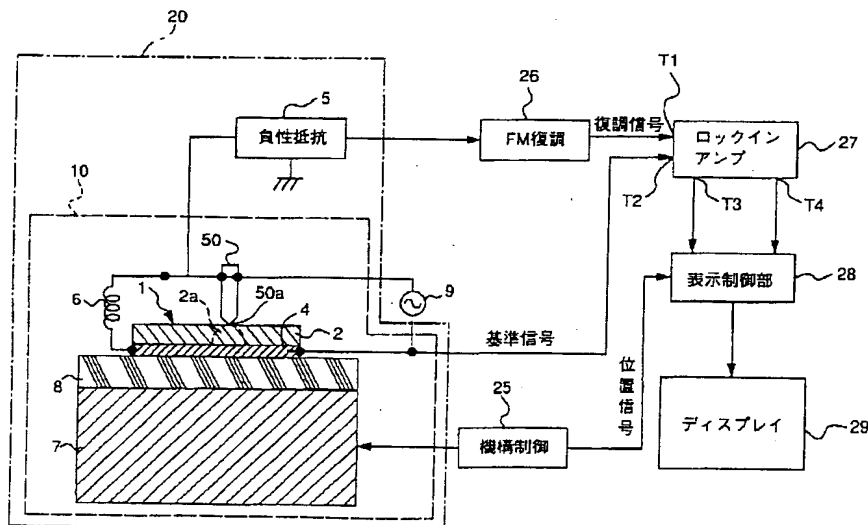
【図15】 第五の実施例の誘電体記録読取装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

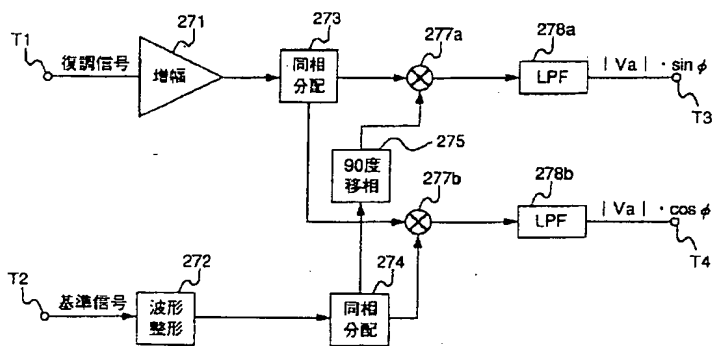
1…キャパシタ部、
2…誘電体試料、
2a, 102a…微小領域、
2b, 102b…領域、
3, 4a…透明電極、
4…電極、
5…負性抵抗回路、
6…コイル、
7, 7a…機構部、
9…交流電源、
10, 10a, 10b, 10c…共振回路部、
20, 20a, 20b, 20c…発振器、
21…レーザダイオード、
25…機構制御部、
26…FM復調回路、
27, 27a…ロックインアンプ、
28…表示制御部、

29…ディスプレイ、
30…リエントラント型空洞共振器、
31…導体ケース、
32…中心導体、
33…開口部、
35, 50a…先端部、
50…測定電極、
51…光電変換器、
53a, 53b, 277a, 277b…混合器、
55a, 55b, 55c, 55d…テープ保持部、
57…ハーフミラー、
58…レンズ、
56…位相検出器、
60…反射光測定部、
100…誘電体テープ、
102…誘電体膜、
103…透明電極膜、
104…金属膜、
271…増幅器、
272…波形整形器、
273, 274…同相分配器、
275…90度移相器、
278a, 278b…低域通過フィルタ。

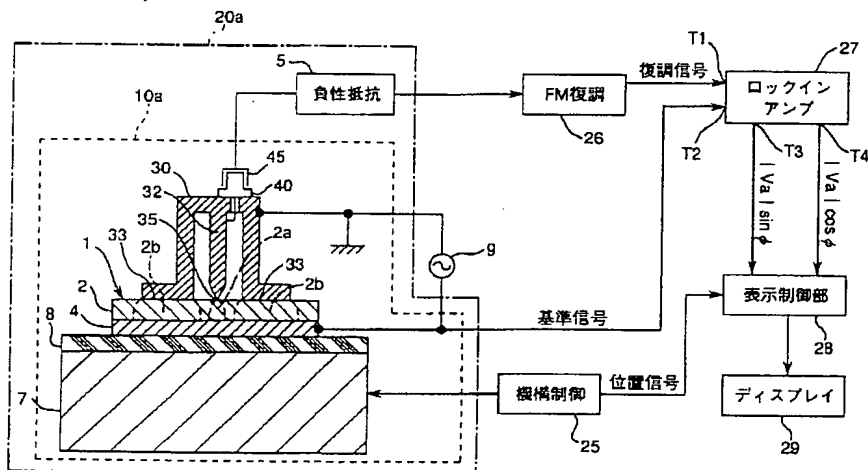
【図1】



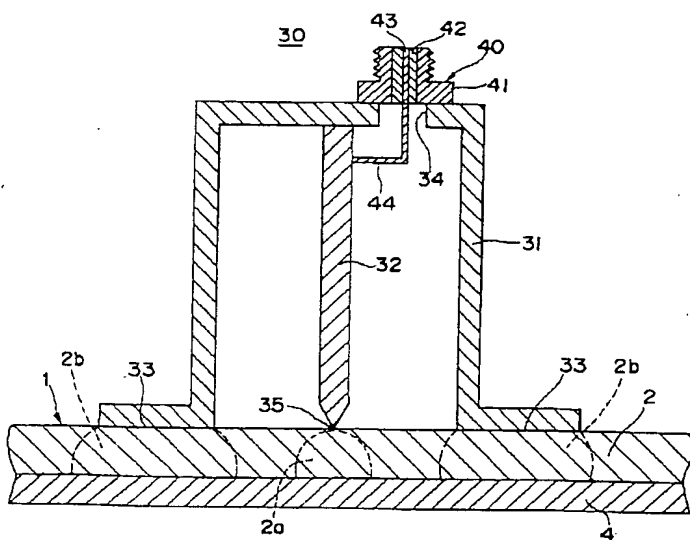
【図 2】



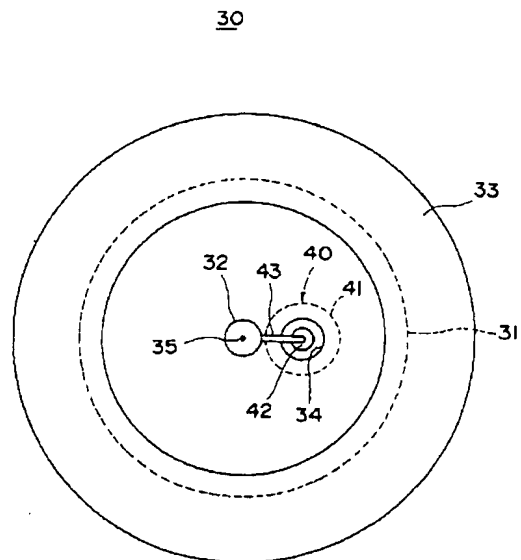
【図 3】



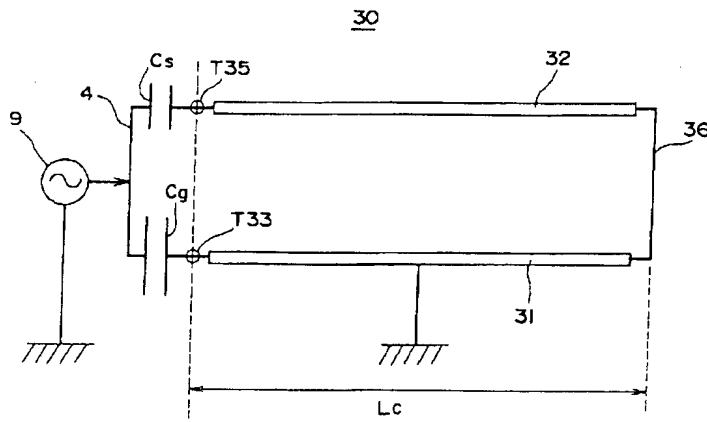
【図 4】



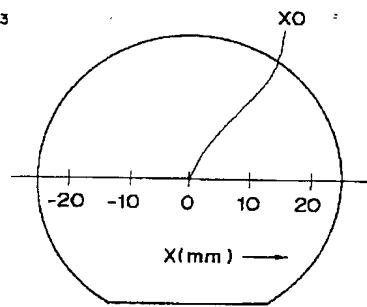
【図 5】



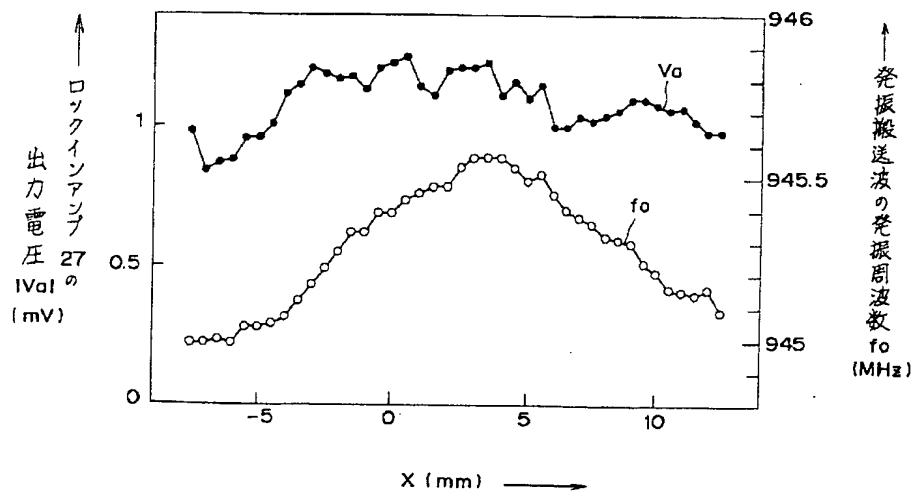
【図6】



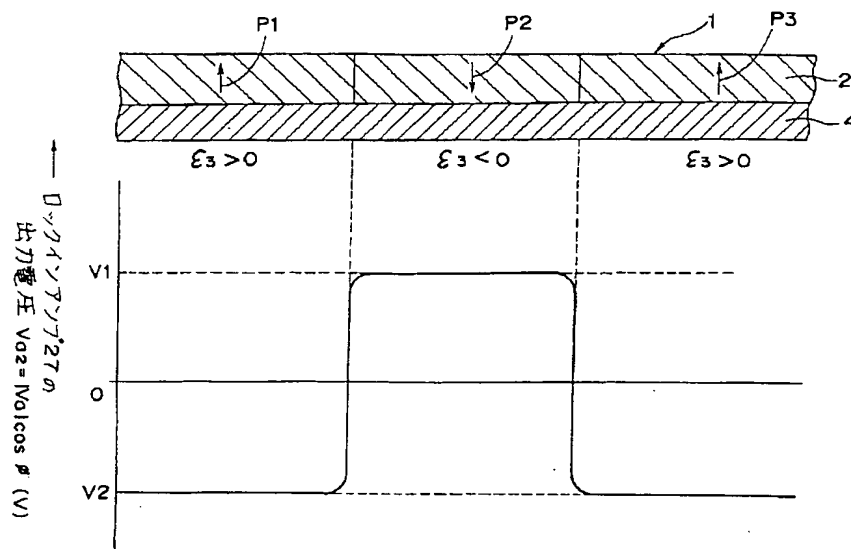
【図7】

Z カット LiNbO_3 

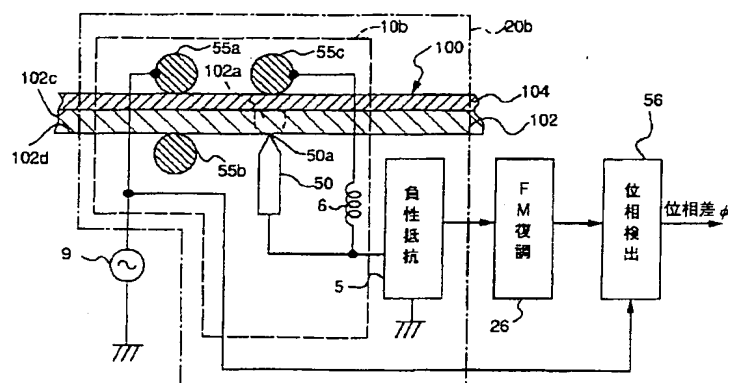
【図8】



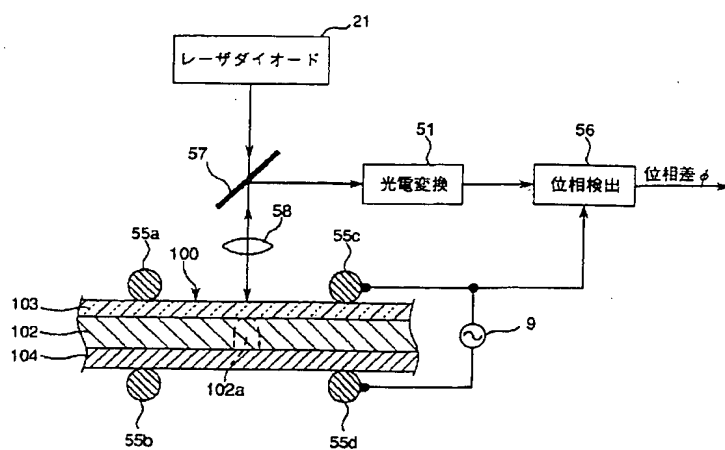
【図 9】



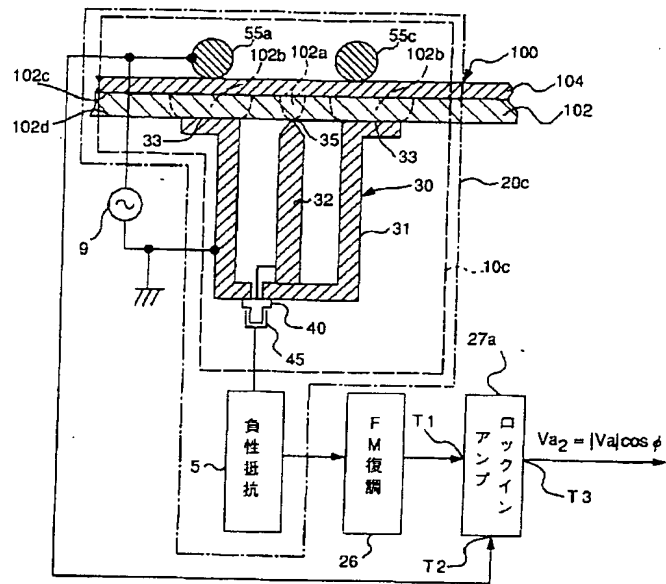
【図 10】



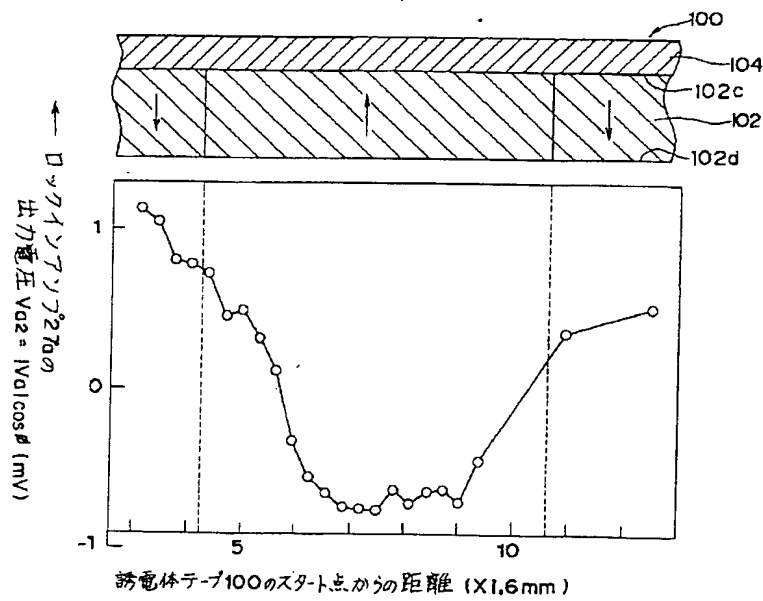
【図 15】



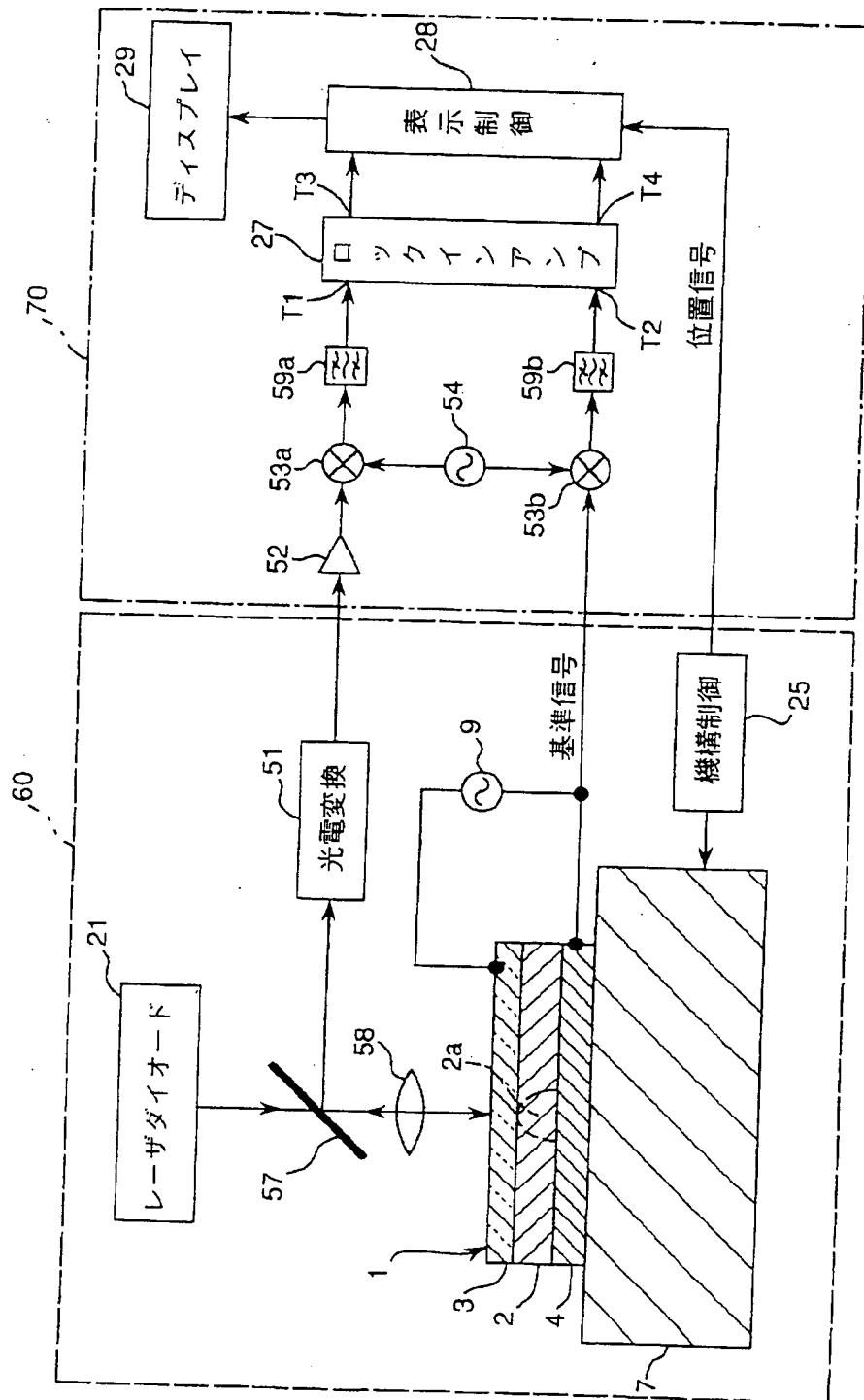
【図11】



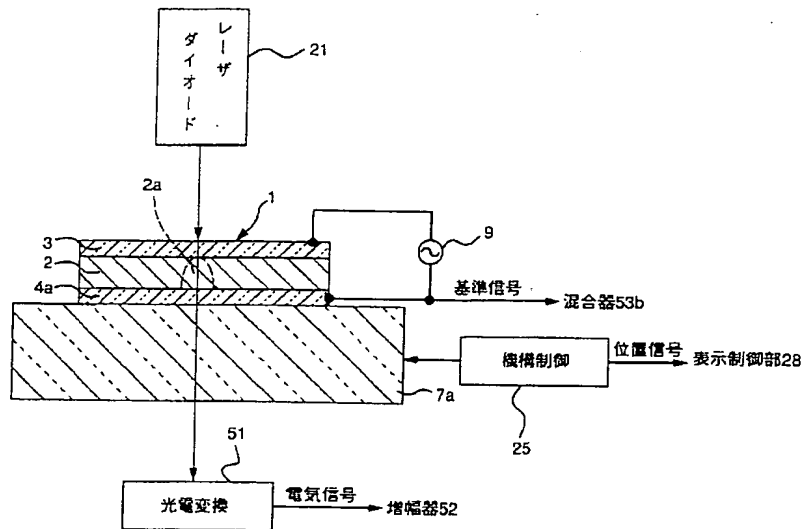
【図12】



【図13】



【図14】



上記導体ケース31の接触表面部33が上記誘電体試料2の上面と接した状態を保ったまま誘電体試料2を一次元方向または二次元方向に移動させる。以上のようにして、第一の実施例の非線形誘電率測定装置の共振回路部10aは構成される。また、共振回路部10a以外の部分は上述の図1の基本回路と同様に構成される。

【0065】図6は上述のように構成されたキャパシタ部1と交流電源9を含むリエントラント型空洞共振器30の等価回路を表す回路図である。図6の等価回路は、中心導体32と接地導体である上記導体ケース31の円筒状の側面とによって構成される伝送線路の一端が導体ケース31の上底面である短絡面36によって短絡され、上記伝送線路の他端である上記中心導体32の先端部35である端子T35と上記導体ケース31の接触表面部33である端子T33はそれぞれキャパシタンスCsとキャパシタンスCgを介して電極4に接続されている。また接地導体である上記導体ケース31と電極4の間には交流電源9が接続される。

【0066】以上のように構成された第一の実施例の非線形誘電率測定装置において、上記交流電源9が、上記リエントラント型空洞共振器30の導体ケース31と上記電極4に交流電圧Vpを印加すると、上記誘電体試料2の微小領域2aと上記接触表面部33と電極4との間に位置する領域2bに交流電界Epが発生する。上記微小領域2aと上記領域2bはどちらも上記交流電界Epによって誘電率が変化してキャパシタンスCs、Cgが変化する。このとき、上記接触表面部33の接触面積は、上記先端部35の接触面積に比較すると十分大きいので、キャパシタンスCg≫キャパシタンスCsが成り立つ。また図6に示すように、キャパシタンスCgとキャパシタンスCsは直列接続になるので、上記誘電体試料2と電極4を含むリエントラント型空洞共振器30の共振周波数は、キャパシタンスCsの変化に伴って変化するが、キャパシタンスCgの変化による共振周波数への影響は無視できる。

【0067】また、上記リエントラント型空洞共振器30の共振条件はよく知られたように次の数31で与えられる。数31中、Lcは当該リエントラント空洞共振器30の共振器長であり、vcは真空中の光の速度であり、Yは、リエントラント型空洞共振器30の上記導体ケース31と上記中心導体32とを同軸線路と見たときの同軸線路の特性アドミタンスであって、数32で表される当該同軸線路の特性インピーダンスZの逆数で表される。ここで、数32におけるaは中心導体32の径であり、bは導体ケース31の内径である。また、μ₀は真空中の透磁率であり、ε₀は真空中の誘電率である。さらに数31は、数33に変形することができ、またさらに数33は数34のように変形することができる。従って、数34より、上記共振器長Lcは数35で与えられる。

【0068】

$$\text{【数31】 } \omega r \cdot C_s - Y \cot(\omega r \cdot L_c / v_c) = 0$$

$$\text{【数32】 } Z = \{1/(2\pi)\} \sqrt{(\mu_0/\epsilon_0)} \ln(b/a)$$

$$\text{【数33】 } \tan(\omega r \cdot L_c / v_c) = Y/(\omega r \cdot C_s)$$

$$\text{【数34】 } \omega r \cdot L_c / v_c = \tan^{-1}\{Y/(\omega r \cdot C_s)\}$$

$$\text{【数35】 } L_c = (v_c / \omega r) \tan^{-1}\{Y/(\omega r \cdot C_s)\}$$

【0069】次に、上記リエントラント空洞共振器30の角共振周波数ωrを数36のように表して、数36で表される角共振周波数ωrと数21で表されるキャパシタンスCsとを数31に代入すると、数31は数37のように表される。ここで、数36中、ω₀は、誘電体試料2に交流電圧Vpを印加していないときの、上記リエントラント空洞共振器30の角共振周波数である。また、Δωは、誘電体試料2に交流電圧Vpを印加したときの、上記リエントラント空洞共振器30の角共振周波数ω₀からの角共振周波数変化量である。

【0070】

$$\text{【数36】 } \omega r = \omega_0 + \Delta \omega$$

$$\text{【数37】 } (\omega_0 + \Delta \omega)(C_0 + \Delta C) - Y \cot\{(\omega_0 / v_c + \Delta \omega / v_c) \cdot L_c\} = 0$$

【0071】ここで、ω₀≫Δω、C₀≫ΔCであるから、数37において、数38で表される近似式を用いることができ、またΔω×ΔC≒0と近似することができる。以上のことから、数37は数39のように表わすことができる。

【0072】

$$\text{【数38】 } \cot\{(\omega_0 / v_c + \Delta \omega / v_c) \cdot L_c\} \approx \cot\{(\omega_0 / v_c) \cdot L_c\} - [\operatorname{cosec}^2\{(\omega_0 / v_c) \cdot L_c\}] \cdot (\Delta \omega / v_c) \cdot L_c$$

$$\text{【数39】 } \omega_0 C_0 + \Delta \omega C_0 + \omega_0 \Delta C - Y \cot\{(\omega_0 / v_c) \cdot L_c\} + [Y \cdot \operatorname{cosec}^2\{(\omega_0 / v_c) \cdot L_c\}] \cdot (\Delta \omega / v_c) \cdot L_c = 0$$

【0073】数39は数40のように変形でき、さらに数40は、数41のように変形することができる。

【0074】

$$\text{【数40】 } \Delta \omega [C_0 + (L_c / v_c) Y \operatorname{cosec}^2\{(\omega_0 / v_c) \cdot L_c\}] = -\omega_0 \cdot \Delta C$$

$$\text{【数41】 } \Delta f / f_0 = \Delta \omega / \omega_0$$

$$= -\Delta C / [C_0 + (L_c / v_c) Y \operatorname{cosec}^2\{(\omega_0 / v_c) \cdot L_c\}]$$

【0075】以上詳述したように、リエントラント空洞共振器30の導体ケース31と電極4に交流電圧Vpを印加したときの共振周波数変化量Δfは、キャパシタンス変化量ΔCの負の傾きを有する1次関数で表される。従って、上記リエントラント空洞共振器30の共振周波数f₀は、上記キャパシタンスCsのキャパシタンス変化量ΔCに比例して共振周波数変化量Δfだけ変化する。また、上記共振回路部10aと負性抵抗回路5は、発振器20aを構成しているので、上記発振器20aは、上記共振周波数f₀と同じ周波数である発振周波数foscを有する発振信号を発振して発生してFM復調回路26に出力する。ここで、上述のように上記リエント